INCIDENCIA REAL DE LA MINERIA DEL CARBON, DEL ORO Y DEL USO DEL MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL CON ENFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HIDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACION SECTORIAL

MINMINAS

TODOS POR UN NUEVO PAÍS
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

upme
Unidad de Planeación Minero Energética

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC 223, (UPME) CI-002-2015

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO

Y

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

NOVIEMBRE DE 2015

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Punto de atención presencial: Calle 43 N° 57 - 31 CAN - Bogotá D.C,. Colombia,
PBX: (57) +1 220 0300
Línea gratuita nacional: 01 8000 910 180
Código Postal 111321

Ministro:	**TOMÁS GONZÁLEZ ESTRADA**
Secretaria General Ministerio:	**GERMÁN EDUARDO QUINTERO ROJAS**
Viceministra:	**MARÍA ISABEL ULLOA CRUZ**
Director de Formalización Minera:	**MÓNICA MARÍA GRAND MARÍN**
Supervisor del Contrato:	**GILSON LEON GONZÁLEZ**
Equipo Jurídico:	**JUAN JOSÉ PARADA HOLGUÍN**

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO – UPME

Sede: Avda. Calle 26 # 69 D-91, Piso 9°. Bogotá, Colombia
PBX: 57- 1 222 06
FAX: 57 – 1 221 95 37
Línea Gratuita Nacional: 0 8000 91 17 29

Director General:	**JORGE ALBERTO VALENCIA MARIN**
Subdirectora de Minería:	**SARA C. CÁRDENAS CASTILLO**
Equipo Jurídico:	**GUILLERMO GÓMEZ LÓPEZ**
Supervisor del Contrato:	**CAMILO ALEJANDRO GÓMEZ USUGA**

Equipo de Trabajo

Ph.D. Ing. José Luís Marrugo Negrete	Director del Estudio
Ph.D. Ing. José María Iraizoz Fernández	Profesional temático en Ingeniería de Minería
Ph. D. Pablo Higueras Higueras	Profesional temático en Minería y recursos mineros
MSc. Jairo Herrera Arango	Profesional temático en Minería y recursos mineros
Ph.D. Sergi Diez Salvador	Profesional temático en Minería, Experto internacional Minería y Ambiente
Dr. Santiago Español Cano	Profesional en Salud Ocupacional Minera
Ph.D. Ana Carolina Ruíz Hernández	Experto Internacional Geoquímica Isotópica
MSc. Roberth Paternina Uribe	Coordinador Operativo
Ing. Karol Velásquez Barrios	Ingeniera Sanitaria y Ambiental Profesional de Apoyo
MSc. Luis Díaz Vargas	Profesional temático en Economía
MSc. Freddys Young Castro	Profesional en Ambiental
MSc. Iván Urango Cárdenas	Experto en análisis químico
Esp. Juan Carlos Zuñiga	Geólogo Experto en Yacimientos
MSc. José Pinedo Hernández	Experto en Análisis Químico Ambiental
MSc. Saudith Burgos Núñez	Experta en Análisis Químico Ambiental
Norbey Marin Arredondo	Profesional en estadística
Geog. Juan Camilo Ospino	Geógrafo
Geog. Alvaro Ramos Tirado	Geógrafo
Ing. Ivonne Negrete Sierra	Ingeniera Ambiental de apoyo
Ing. Manuel Coy Pertuz	Ingeniero Ambiental de apoyo
Ing. Paola Burgos Arroyo	Ingeniera Ambiental de apoyo
Ing. Zunilda Roca Montalvo	Ingeniera Ambiental de apoyo
Tec. Alexis De León Navarro	Tecnólogo en Producción
Mayra Luna Arcila	Ingeniera Ambiental Practicante
Sully Morelo Figueroa	Ingeniera Ambiental Practicante
Ana Nieves Padilla	Ingeniera Ambiental Practicante
Ing. Jenyfer Márquez Solera	Ingeniera de Minas y Metalurgia
Ing. Alex Lemus Madrid	Ingeniero de Minas y Metalurgia

CONTENIDO

CONTENIDO I

ÍNDICE DE TABLAS V

ÍNDICE DE GRÁFICOS IX

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES III

PRESENTACION 1

CAPITULO 1. CRONOGRAMA Y METODOLOGÍA DE TRABAJO 3

1. INTRODUCCIÓN 4

1.1 OBJETIVOS 6

1.2 ALCANCES 7

1.3 DEPARTAMENTOS EN EVALUACIÓN 7

1.4 CLASIFICACIÓN DE MINERÍA 8

2. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA 9

2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 9

2.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA CON LA MINERÍA 13

3. ANÁLISIS DE LA MINERÍA DE CARBÓN EN COLOMBIA 18

3.1 LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN 18

3.2 PRINCIPALES DEPARTAMENTOS PRODUCTORES 24

3.3 PRINCIPALES CASOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES RELACIONADOS CON CARBÓN 25

4. ANÁLISIS DE LA MINERÍA DE ORO EN COLOMBIA 31

4.1 LA PRODUCCIÓN DE ORO 31

4.2 PRINCIPALES DEPARTAMENTOS PRODUCTORES 34

4.3 PRINCIPALES CASOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES RELACIONADOS CON ORO 38

4.4 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL MERCURIO SEGÚN LA CADENA DEL MERCURIO. 42

5. DEFINICIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA 48

5.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA 52

5.2 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE INTERÉS 55

6. PLAN GENERAL DE TRABAJO 71

Tablas de contenido

6.1 ETAPA 1: CONFORMACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO 71
6.2 ETAPA 2: TRABAJO DE CAMPO 73
6.3 ETAPA 3: RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 74
6.4 ETAPA 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS 74
6.5 ETAPA 5: SOCIALIZACIÓN 75
7. CRONOGRAMA DE TRABAJO 76
8. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LAS ETAPAS DE TRABAJO 77
8.1 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO 77
8.2 METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL BALANCE HÍDRICO 81
8.3 METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS 81
8.4 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN MINERA 86
8.5 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS 91
8.6 METODOLOGÍA PARA LA TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS 92
9. CONCLUSIONES 96
10.RECOMENDACIONES 98
11.BIBLIOGRAFÍA 99
CAPITULO 2. MINERÍA DE ORO Y CARBÓN – ANALISIS DE RESULTADOS 103
1. INTRODUCCION 105
2. MINERÍA DE METALES PRECIOSOS 107
2.1 DEMANDA HÍDRICA GENERAL DE LAS MINAS AURÍFERAS VISITADAS 121
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA MINERÍA AURÍFERA 147
3. MINERÍA DE CARBÓN 157
3.1. DEMANDA HÍDRICA GENERAL DE LAS MINAS DE CARBÓN VISITADAS 166
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA MINERÍA DE CARBÓN 176
4. MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICO 208
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS 209
4.2 MEDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS 210
4.3 CÁLCULO DE MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICO 210
5. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE VERTIMIENTOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA 218

Tablas de contenido

5.1 MINERÍA DE ORO 219
5.2. MINERÍA DE CARBÓN 267
6. FICHAS TÉCNICAS INDIVIDUALES 288
6.1. MINAS AURÍFERAS VISITADAS 288
6.2. MINAS CARBONÍFERAS VISITADAS 334
7. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN EN EL PAÍS 349
7.1. DEMANDA TOTAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN POR DEPARTAMENTOS ANALIZADOS 349
7.2. EXTRAPOLACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA PARA LA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN A NIVEL NACIONAL. 350
8. ANÁLISIS DE IMPACTO EN TÉRMINOS DEL CAMBIO EN LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA RECEPTORES GENERADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Y CARBÓN 356
8.1. ANÁLISIS DEL IMPACTO AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN MINERA EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL CUERPO DE AGUA RECEPTOR DEFINIDOS POR LA AUTORIDAD AMBIENTAL. 357
9. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS, SUELOS, SEDIMENTOS, AIRE Y BIOTA EN LAS ZONAS MINERAS AURÍFERAS 389
9.1. CONCENTRACIONES DE MERCURIO 389
9.2. BIODISPONIBILIDAD Y LAS FASES GEOQUÍMICAS DEL MERCURIO 392
10.CONCLUSIONES 393
11.RECOMENDACIONES 395
12.BIBLIOGRAFÍA 397
CAPITULO 3. MODELOS Y MEJORES PRÁCTICAS 401
1. INTRODUCCION 402
2. OPTIMIZACION DEL RECURSO HÍDRICO 404
2.1. MEJORES PRÁCTICAS PARA OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO HÍDRICO 404
2.2. TECNOLOGÍAS PARA OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO HÍDRICO 469
3. MANEJO DE VERTIMIENTOS 533

Tablas de contenido

3.1. ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA GENERACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS 533
3.2. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS VERTIMIENTOS A LOS CUERPOS DE AGUA 540
4. LINEA BASE AMBIENTAL 622
5. MODELO CONCEPTUAL DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y TEMPORAL DEL MERCURIO EN EL ÁREA MINERA 632
6. CONCLUSIONES 638
7. RECOMENDACIONES 640
BIBLIOGRAFIA 641

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conflictos Mineros En América Latina Y El Caribe, julio 2013 ____ *14*
Tabla 2. Producción por tipo de carbón 2010 - 2014. ____ *23*
Tabla 3. Producción de Carbón por Departamento (2005 – 2014) ____ *24*
Tabla 4. Caracterización según tipos de minería para el carbón ____ *26*
Tabla 5. Histórico de producción de oro ____ *33*
Tabla 6. Municipios con mayor producción de Oro. ____ *35*
Tabla 7. 20 principales países mineros de oro ____ *37*
Tabla 8. Principales empresas productoras de Oro a nivel mundial ____ *38*
Tabla 9. Histórico de producción aurífera nacional (toneladas) ____ *53*
Tabla 10. Histórico de producción carbonera nacional (miles de toneladas) ____ *55*
Tabla 11. Histórico de producción aurífera en los departamentos seleccionados (kilogramos) ____ *56*
Tabla 12. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Antioquia ____ *57*
Tabla 13. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Choco ____ *59*
Tabla 14. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Caldas ____ *60*
Tabla 15. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Tolima ____ *61*
Tabla 16. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Bolívar ____ *63*
Tabla 17. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cauca ____ *65*
Tabla 18. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cesar ____ *66*
Tabla 19. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Boyacá ____ *68*
Tabla 20. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cundinamarca ____ *70*
Tabla 21. Objetivos generales de las visitas de seguimiento y su relación con los instrumentos y formatos que se utilizan durante las mismas ____ *78*
Tabla 22. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería aurífera artesanal y pequeña escala en Colombia - fase de operación ____ *83*
Tabla 23. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería aurífera artesanal y pequeña escala en Colombia - fase de operación ____ *84*
Tabla 24. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería de carbón a cielo abierto - fase de operación ____ *85*
Tabla 25. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería de carbón a cielo abierto - fase de operación ____ *85*
Tabla 26. Plantilla de Información Básica ____ *88*
Tabla 27. Formato de Valoración Técnica Minera Cielo Abierto ____ *89*

Tablas de contenido

Tabla 28. Ficha para el proceso de beneficio de Carbón 90
Tabla 29. Caracterización proceso de beneficio de Oro 91
Tabla 30. Métodos para el análisis de las muestras 93
Tabla 31. Meta de calidad Quebrada Juan Vara (2007- 2019). 109
Tabla 32. Meta Global de calidad- Quebrada La Cianurada. 110
Tabla 33. Distribución de la oferta hídrica y caudales por áreas hidrográficas (Magdalena-Cauca) 115
Tabla 34. Oferta total y disponible de agua azul por área hidrográfica 116
Tabla 35. Disponibilidad de agua verde por área hidrográfica según los cálculos y suposiciones en este estudio 117
Tabla 36. Valores por subzona de oferta y calidad del agua 119
Tabla 37. Indicadores por subzona hidrográfica 119
Tabla 38. Resultado análisis integrado por subzonas 119
Tabla 39. Demanda hídrica por proceso minero el distrito minero del Nordeste antioqueños 122
Tabla 40. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar) 127
Tabla 41. *Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero del Tambo (Cauca)* 133
Tabla 42. *Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Marmato (Caldas)* 138
Tabla 43. *Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Istmina (Choco)* 144
Tabla 44. *Proceso de extracción y beneficio en el distrito minero del Nordeste antioqueño* 148
Tabla 45. *Proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)* 150
Tabla 46. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero del Tambo 153
Tabla 47. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de Marmato. 154
Tabla 48. Proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de Istmina (Chocó) 156
Tabla 49. *Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Zipa – Samacá* 170
Tabla 50. Demanda de agua por unidad productiva en el departamento de Cesar. 171
Tabla 51. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Amagá 175
Tabla 52. *Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de Zipa - Samacá* 178
Tabla 53. *Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de Amagá* 194
Tabla 54. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de La Jagua 203
Tabla 55. Módulos de consumo hídrico promedio para el distrito minero de Marmato 212
Tabla 56. Módulos de consumo hídrico para los distritos mineros auríferos y carboníferos analizados 214
Tabla 57. Demanda hídrica consolidad por procesos mineros [m^3/mes] 215
Tabla 58. Módulos de consumo hídrico por procesos mineros [m^3/t) 215
Tabla 59. *Vertimientos mineros generados en el distrito del Nordeste antioqueño.* 219
Tabla 60. Vertimientos generados por la actividad minera del departamento de Bolívar 226
Tabla 61. Vertimiento de las UPM del departamento de Cauca 229
Tabla 62. Vertimientos generado por las UPM en el departamento de Caldas 232

Tablas de contenido

Tabla 63. Vertimientos generados por la actividad minera del departamento de Choco. _____ *235*
*Tabla 64. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Antioquia.*_____ *239*
Tabla 65. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Antioquia evaluadas _____ *240*
Tabla 66. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Antioquia evaluadas _____ *241*
Tabla 67. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Antioquia. _____ *242*
*Tabla 68. Resultados de Contenido de Fenoles en aguas muestreadas las zonas de las UPM del Departamento de Antioquia.*_____ *244*
Tabla 69. Resultados de Cálculo de ICA para todas las zonas de las UPM del Departamento de Antioquia. _____ *245*
Tabla 70. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Bolívar _____ *246*
*Tabla 71. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Bolívar evaluadas*_____ *247*
Tabla 72. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Bolívar evaluadas _____ *248*
Tabla 73. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Bolívar *249*
Tabla 74. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Bolívar. _____ *251*
Tabla 75. Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Bolívar. _____ *252*
*Tabla 76. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Caldas*_____ *253*
Tabla 77. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Caldas evaluadas _____ *254*
Tabla 78. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Caldas *255*
Tabla 79. Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Caldas _____ *256*
*Tabla 80. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Caldas evaluadas*_____ *257*
Tabla 81. *Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Caldas* _____ *258*
Tabla 82. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Cauca _____ *259*
*Tabla 83. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Cauca evaluadas*_____ *260*
Tabla 84. *Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Cauca* _____ *261*
Tabla 85. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cauca *262*
Tabla 86. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Cauca evaluadas _____ *263*
Tabla 87. *Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cauca* _____ *264*
Tabla 88. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Choco _____ *265*
*Tabla 89. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Choco evaluadas*_____ *265*
Tabla 90. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Choco *266*

Tablas de contenido

Tabla 91. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Choco evaluadas 266
Tabla 92. Vertimientos generados por las UPM en el departamento de Cundinamarca y cuerpos receptores. 267
Tabla 93. Vertimientos generados por las UPM en el departamento de Boyacá y cuerpos receptores. 271
Tabla 94. Vertimientos generados por la actividad minera carbonífera del departamento de Antioquia. 273
Tabla 95. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Cundinamarca 276
Tabla 96. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Cundinamarca evaluadas 277
Tabla 97. Resultados de fenoles del Departamento de Cundinamarca 278
Tabla 98. Resultados de hidrocarburos del departamento de Cundinamarca 279
Tabla 99. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cundinamarca 281
Tabla 100. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Cundinamarca evaluadas 282
***Tabla 101.** Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cundinamarca* 283
Tabla 102. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Boyacá 284
Tabla 103. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Boyacá evaluadas 284
Tabla 104. Resultados de fenoles del Departamento de Boyacá 285
Tabla 105. Resultados de hidrocarburos del departamento de Boyacá 286
Tabla 106. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Boyacá 287
Tabla 107. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Boyacá evaluadas 287
***Tabla 108.** Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Boyaca.* 287
Tabla 109. Demanda de agua en la minería aurífera 350
Tabla 110. Demanda de agua en la minería carbonífera 350
Tabla 111. Estimación de la demanda hídrica en la minería aurífera colombiana 353
***Tabla 112.** Estimación de la demanda hídrica en la minería carbonera colombiana* 353
Tabla 113. Cuerpos de agua receptor en el distrito minero del Nordeste antioqueño. 357
Tabla 114. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de las UPM 05895O01 y 05895O02 358
Tabla 115. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de las UPM 05736O03, 05736O04 y 05736O05 359
Tabla 116. Cuerpos de agua receptores por UPM visitada 360
Tabla 117. Resultados Fisicoquímicos UPM 13490O02 360
Tabla 118. Resultados Fisicoquímicos UPM 13490O03 361
Tabla 119. Resultados Fisicoquímicos Quebrada Azulita 361
Tabla 120. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O08 362

Tablas de contenido

Tabla 121. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O010 ____ *363*
Tabla 122. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O01 ____ *363*
Tabla 123. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O06 ____ *364*
Tabla 124. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O07 ____ *364*
Tabla 125. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O09 ____ *366*
Tabla 126. Vertimiento y cuencas pertenecientes a las UPM ____ *366*
Tabla 127. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O02 ____ *372*
Tabla 128. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O03 ____ *373*
Tabla 129. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O06 ____ *373*
Tabla 130. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O07 ____ *374*
Tabla 131. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O08 ____ *375*
Tabla 132. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O10 ____ *375*
Tabla 133. Cuerpos de aguas receptores por UPM visitada en el distrito minero de Istmina ____ *376*
Tabla 134. Concentraciones de sólidos en los efluentes de la UPM 27205O01 a la quebrada los negros. ____ *377*
Tabla 135. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27491O02 y la quebrada aguas claras. *377*
Tabla 136. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27491O03 y la quebrada aguas claras. *378*
Tabla 137. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27600O04 y la cuenca del rio quito. ____ *379*
Tabla 138. UPM con Parámetros que exceden los LMP Resolución 631 de 2015 (mg/l) ____ *380*
Tabla 139. Cuerpos Receptores y Cuenca final de drenaje de las UPM. ____ *381*
Tabla 140. Fuentes hídricas receptoras por unidad de producción minera en el distrito de Amagá ____ *386*
Tabla 141. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en los vertimientos y el cuerpo de agua receptor de las UPM 05809C01 y 05809C02 ____ *386*
Tabla 142. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el vertimiento y el cuerpo de agua receptor de la UPM 05809C03 ____ *387*
Tabla 143. Concentraciones de mercurio en compartimientos ambientales de las zonas priorizadas en los departamentos de Bolívar y Cauca. Las unidades de las concentraciones están dadas en la tabla. ____ *389*
Tabla 144. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento de Bolívar. ____ *391*
Tabla 145. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento del Cauca. ____ *391*
Tabla 146. Fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos de las áreas estudiadas. ____ *392*
Tabla 147. Tecnologías Grupo 01 DM Nordeste Antioqueño ____ *482*
Tabla 148. Tecnologías Grupo 02 DM Nordeste Antioqueño ____ *484*
Tabla 149. Tecnologías Grupo 01 DM San Martin de Loba ____ *487*
Tabla 150. Tecnologías Grupo 01 DM San Martin de Loba ____ *490*
Tabla 151. Tecnologías grupo 3 de UPMs en DM San Martín de Loba ____ *492*
Tabla 152. Tecnologías grupo 4 de UPMs en DM San Martín de Loba ____ *494*

Tablas de contenido

Tabla 153. Tecnologías utilizadas UPM 13667O08 496
Tabla 154. Tecnologías grupo 1 de UPM en DM Tambo-Buenos Aires 498
Tabla 155. Tecnologías grupo 2 de UPMs en DM Tambo-Buenos Aires 500
Tabla 156. Tecnologías grupo 3 de UPMs en DM Tambo-Buenos Aires 502
Tabla 157. Tecnologías UPM 19256O06 504
Tabla 158. Tecnologías UPM 19256O09. 506
Tabla 159. Tecnologías implementadas UPM 19110O03 507
Tabla 160. Tecnologías grupo 1 de UPM en DM Marmato 511
Tabla 161. Tecnologías grupo 2 de UPM en DM Marmato 513
Tabla 162. Tecnologías grupo 3 de UPM en DM Marmato 515
Tabla 163. Tecnologías grupo 1 de UPMs en DM Itsmina 517
Tabla 164. Tecnologías grupo 1 de UPMs en DM Itsmina 520
Tabla 165. Eficacia, impacto ambiental y efecto funcional de supresores de polvo.. 522
Tabla 166. Tecnologías propuestas para la optimización del recurso hídrico en el distrito Zipa-Samacá 528
Tabla 167. Tecnologías propuestas para la optimización del recurso hídrico en el distrito Amaga 531
Tabla 168. Metales pesados presentes en los vertimientos del distrito minero nordeste antioqueño. 548
Tabla 169. Metales presentes en los vertimientos del Distrito minero de San Martín de Loba 563
Tabla 170. Metales pesados que superan los LMP en cada una de las UPM del Distrito minero del Tambo 574
Tabla 171. Metales pesados que superan los LMP en cada una de las UPM del Distrito minero de Marmato 584
Tabla 172. Metales pesados de las UPM en el distrito minero de Itsmina 595
Tabla 173. Metales presentes en los vertimientos del distrito minero Zipa-Samacá. 609
Tabla 174. Concentraciones de mercurio en compartimientos ambientales de las zonas priorizadas en los departamentos de Bolívar y Cauca. 622
Tabla 175. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento de Bolívar. 623
Tabla 176. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento del Cauca. 623
Tabla 177. Fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos de las áreas estudiadas. 625

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Reservas de Carbón a nivel mundial (millones de toneladas) 19
Gráfico 2. Producción de Carbón en Colombia 1980 -2013 21
Gráfico 3. Reservas de Carbón 21
Gráfico 4. Producción por tipo de Carbón 23
Gráfico 5. Producción de Carbón por departamentos (Millones de Toneladas) 25
Gráfico 6. Algunos efectos ambientales de la minería carbonífera 28
Gráfico 7. Precio del Oro, registro histórico de 1990-2014 32
Gráfico 8. Producción de oro por departamento 34
Gráfico 9. Municipios con mayor producción 36
Gráfico 10. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero del Nordeste antioqueño 123
Gráfico 11. Demanda de agua en las UPM 05895O01 y 05895O02 124
Gráfico 12. Demanda de agua por procesos en la UPM 05736O03 124
Gráfico 13. Demanda de agua por procesos en las UPM 05736O04 y 05736O05 125
Gráfico 14. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar) 128
Gráfico 15. UPM que sólo registran dos tipos de demanda hídrica 129
Gráfico 16. UPM en Bolívar que aplican cuatro procesos 130
Gráfico 17. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero del Tambo (Cauca) 132
Gráfico 18. Demanda de agua en procesos de las UPM 19110O03 y 19256O09 135
Gráfico 19. Demanda de agua en procesos en la UPM 19780O01 y 19780O02 135
Gráfico 20. Demanda de agua en procesos UPM 19622O10 136
Gráfico 21. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero de Marmato (Caldas) 137
Gráfico 22. UPM que aplican solo tres procesos unitarios en el distrito minero de Marmato 140
Gráfico 23. UPM que aplican solo dos procesos unitarios en el distrito minero de Marmato 141
Gráfico 24. UPM del distrito minero de Marmato con igual esquema en el beneficio del mineral 142
Gráfico 25. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero de Istmina (Choco) 143
Gráfico 26. UPM del departamento de Choco con esquema en el beneficio del mineral a través de Dragas de succiones en el distrito minero de Istmina (Choco) 145

Tablas de contenido

Gráfico 27. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero de Zipa - Samacá *168*
Gráfico 28. Producción de Carbón térmico por UPM en el departamento de Cesar. *172*
Gráfico 29. Demanda de agua por UPM en el departamento de Antioquia. *173*
Gráfico 30. Esquema de extracción de carbón en el distrito minero de Zipa - Samacá *177*
Gráfico 31. Esquema de extracción de carbón (minería subterránea) en el distrito minero de Amagá *193*
Gráfico 32. Esquema de extracción de carbón (minería de superficie) en el distrito minero de Amagá *194*
Gráfico 33. Esquema de extracción y beneficio de carbón *202*
Gráfico 34. Tendencia de consumo de agua en las plantas de beneficio aurífero del distrito minero de Marmato. El módulo eficiente de consumo hídrico representando por la pendiente de la línea de tendencia es de 3.26 m^3/t *213*
Gráfico 35. Tendencia del óptimo de consumo en la producción aurífera del distrito de Marmato. El módulo eficiente de consumo hídrico es de 1.85 m^3/g. *213*
Gráfico 36. Comportamiento de los caudales de vertimiento en las UPM en relación al material procesado en el distrito minero del Nordeste antioqueño. *220*
Gráfico 37. Comportamiento de los caudales en las quebradas del departamento Antioquia *221*
Gráfico 38. Vertimientos de las UPM del departamento de Bolívar *227*
Gráfico 39. Comportamiento de los caudales de vertimiento en las UPM en relación al material procesado en el departamento de Bolívar. *227*
Gráfico 40. *Comportamiento del Volumen vertido de las UPM en relación al Volumen demandado en el departamento de Bolívar.* *228*
Gráfico 41. Relación de los caudales de vertimiento (m^3) en las UPM en relación al material procesado (Toneladas) al mes en el departamento de Cauca. *230*
Gráfico 42. Comportamiento del volumen extraído y el vertimiento de las UPM (m^3/mes) *231*
Gráfico 43. Comparación del volumen vertido al mes vs demanda de agua mensual de las UPM *233*
Gráfico 44. Volumen mensual del vertimiento del proceso de cianuración en las UPM del departamento de Caldas *234*
Gráfico 45. Comparación del volumen vertido al mes Vs demanda de agua mensual de las UPM *236*
Gráfico 46. Comportamiento del índice de calidad sitios del departamento de Antioquia *243*
Gráfico 47. Volumen mensual de aguas de mina generadas por cada UPM en el departamento de Cundinamarca. *268*
Gráfico 48. Cuerpos receptores de los vertimientos de las UPM del departamento de Cundinamarca. *269*
Gráfico 49. Volumen de agua de UPM vertidos en el departamento de Cundinamarca. *269*
Gráfico 50. Comportamiento de los caudales de vertimiento de las UPM en m^3/s en el departamento de Cundinamarca. *270*
Gráfico 51. Volumen mensual de aguas de mina generado por cada UPM en el departamento de Boyacá. *272*

Tablas de contenido

Gráfico 52. Comportamiento de los caudales en las quebradas del departamento de Boyacá. 273

Gráfico 53. Comportamiento de los volúmenes de vertimiento en las UPM caracterizadas departamento de Antioquia. 274

Tablas de contenido

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Municipios seleccionados en los distritos de Nordeste antioqueño y San Martin de Loba 110
Ilustración 2. Municipios seleccionados en los distritos mineros del Tambo y el de Marmato 114
Ilustración 3. Municipios seleccionados en el distrito minero de Istmina 120
Ilustración 4. Municipios seleccionados en el distrito minero Zipa - Samacá 159
Ilustración 5. Municipios visitados en el distrito minero Amagá 161
Ilustración 6. Municipios visitados en el distrito minero La Jagua 162
Ilustración 7. Bocamina UPM 25317C09 180
Ilustración 8. UPM 25317C08 181
Ilustración 9. UPM 25317C07 182
Ilustración 10. UPM 25317C06 183
Ilustración 11. UPM 25407C04 185
Ilustración 12. UPM 25407C05 186
Ilustración 13. UPM 25224C03 187
Ilustración 14. UPM 25224C02 188
Ilustración 15. UPM 25224C01 189
Ilustración 16. UPM 15600C01 191
Ilustración 17. UPM 15646C02 192
Ilustración 18. Entrada y panorama general de la UPM. 195
Ilustración 19. Entrada y Bocamina de la UPM. 197
Ilustración 20. Bocamina y Oficinas de la UPM. 199
Ilustración 21. Pit y Bancos de explotación. 200
Ilustración 22. Vista general del Pit UPM 20178C01 204
Ilustración 23. Planta de lavado 205
Ilustración 24.Vista general del Pit UPM 20178C02 206
Ilustración 25. Carrotanque para riego de vías 207
Ilustración 26. Tubería de abastecimiento. 409
Ilustración 27. Entrada de agua al proceso de molienda 422
Ilustración 28. Tubería de abastecimiento UPM 19780O01 428
Ilustración 29. Caudal de entrada UPM 19256O06 432
Ilustración 30. Tubería de abastecimiento 448
Ilustración 31. Entrada de agua 461
Ilustración 32. Esquema de beneficio de oro grupo 01 distrito minero Nordeste Antioqueño 481
Ilustración 33. Esquema de beneficio de oro grupo 02 distrito minero Nordeste Antioqueño 483

Tablas de contenido

Ilustración 34. Esquema de beneficio de oro grupo 01 distrito minero San Martin de Loba 486
Ilustración 35. Esquema de beneficio de oro en las UPM grupo 02 distrito minero San Martin de Loba 489
Ilustración 36. Esquema del proceso de beneficio UPMs grupo 3 DM San Martín de Loba 491
Ilustración 37. Esquema del proceso de beneficio UPMs 493
Ilustración 38. Esquema del proceso de beneficio UPM 13667O08 495
Ilustración 39. Esquema de beneficio UPMs Grupo 1 DM Tambo-Buenos Aires 497
Ilustración 40. Esquema de beneficio UPMs Grupo 2 DM Tambo-Buenos Aires 499
Ilustración 41. Esquema de beneficio UPM 19110O05 y 19110O04 501
Ilustración 42. Esquema del proceso de beneficio UPM 19256O06 503
Ilustración 43. Esquema del proceso de beneficio UPM 19256O09 505
Ilustración 44. Esquema del proceso de beneficio UPM 19110O03 507
Ilustración 45. Esquema de beneficio UPMs 17442O02 y 17614O06 509
Ilustración 46. Esquema de beneficio UPMs 17614O07 y 17614O10 510
Ilustración 47. Esquema de beneficio UPMs grupo 2 DM Marmato 512
Ilustración 48. Esquema de beneficio UPMs grupo 3 DM Marmato 514
Ilustración 49. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 1 del distrito de Itsmina 517
Ilustración 50. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina 518
Ilustración 51. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina 519
Ilustración 52. Vertimiento UPM 27600O06 598
Ilustración 53. Sección transversal esquemática de un sistema ALD (Anoxic Limestone Drainage) 612
Ilustración 54. Sección longitudinal esquemática de un sistema ALD 612
Ilustración 55. Perfiles de evolución temporal en sedimentos de las concentraciones de Hg, en el área del sur de Bolívar. 626
Ilustración 56. Líneas de tendencia y modelos de evolución temporal de las concentraciones de Hg, en sedimentos en el área del sur de Bolívar. 627
Ilustración 57. Perfiles de evolución temporal en sedimentos de las concentraciones de Hg, en el área del Bajo Cauca. 627
Ilustración 58. Líneas de tendencia y modelos de evolución temporal de las concentraciones de Hg, en sedimentos en el área del Bajo Cauca. 628
Ilustración 59. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg, en el área del Departamento de Caldas (Marmato) 630
Ilustración 60. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg, en el área del Departamento de Choco (Aguas debajo de Quibdó) 630
Ilustración 61. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg en el área del Departamento del Cauca (Embalse de la Salvajina y el sector la Balsa del Río Teta) 631

Tablas de contenido

Ilustración 62. Modelo conceptual de distribución del mercurio en la zona del Departamento de Bolívar, representados en los municipios mineros de Hatillo de Loba, San Martín de Loba y Barranco de Loba. _____ *633*

Ilustración 63. Modelo conceptual de distribución del mercurio en la zona del Departamento del Cauca, representada en los municipios mineros de Buenos Aires y Suarez. _____ *634*

Ilustración 64. Mapa de distribución espacial de las concentraciones de mercurio en suelos en la zona del Departamento de Bolívar. _____ *635*

Ilustración 65. Mapa de distribución espacial de las concentraciones de mercurio en suelos en la zona del Departamento del Cauca. _____ *636*

PRESENTACION

Es importante conocer la cantidad de agua disponible para la operación minera, por un lado para asegurar la producción (reducción de riesgos operacionales), por otro lado para evitar conflictos con otros usuarios y grupos de interés (reducción de riesgos estratégicos, a terceros y al medio ambiente

En el marco del contrato interadministrativo (MME) GGC 223 de 2015, (UPME) CI-002-2015 celebrado entre el Ministerio de Minas y Energía, La Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME y la Universidad de Córdoba. Cuyo objeto es "elaborar un Estudio que permita determinar los efectos causados por la minería de oro y carbón en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, así como la distribución espacial de las trazas de mercurio relacionadas con la minería aurífera dentro de los departamentos priorizados, con el fin de generar instrumentos técnicos encaminados a orientar el uso eficiente del agua y promover el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable al sector"; La Universidad de Córdoba a través del Instituto Regional del Agua – IRAGUA y el Grupo de Investigación en Aguas, Química Aplicada y Ambiental- GAQAA, inició con las actividades de campo como: lo es la recolección de datos, la toma de muestras de aguas, sedimentos, especies florísticas en donde se llevan a cabo las actividades mineras, en los Departamentos de Bolívar, Cauca y Chocó, así como el proceso de socialización del dicho contrato interadministrativo, en Cauca, Caldas, Tolima y Risaralda, en lo concerniente al componente de la minería aurífera.

Con una mejor información de Línea Base, sobre el recurso hídrico y su incidencia real en la minería del carbón y el oro, nos planteamos como desafío intentar generar una visión prospectiva y diseñar de herramientas para la planificación del sector.

En la mayoría de las actividades productivas que usan agua, existe acuerdo sobre la necesidad de incorporar de manera integrada la Gestión Integral del Recurso Hídrico para asegurar su conservación, calidad y uso racional. Una empresa que no se preocupa de los impactos sobre el recurso hídrico que genera en su área de influencia, pierde credibilidad y respeto ante las autoridades, la comunidad y el mercado, los cuales son cada vez más exigentes en la protección del medio ambiente.

La industria minera está empeñada en demostrar que sus actividades son compatibles con el desarrollo sustentable y específicamente con la protección de vida silvestre, bosques

nativos, biodiversidad y vida acuática, desarrollando sus operaciones en forma responsable para respetar y proteger su entorno, y de una manera u otra, mitigando el cambio climático.

Los sistemas de manejo de recursos de agua se ocupan de la reducción del efluente de mina y beneficio a través de métodos de reciclaje y manejo, y la disposición y tratamiento adecuado del efluente. También tratan la derivación, colección, tratamiento y disposición de la escorrentía de aguas superficiales del sitio minero y la derivación de escorrentías de las áreas que circundan el sitio minero

Es importante conocer la cantidad de agua disponible para la operación minera, por un lado para asegurar la producción (reducción de riesgos operacionales), por otro lado para evitar conflictos con otros usuarios y grupos de interés (reducción de riesgos estratégicos, a terceros y al medio ambiente).

Estamos convencidos que los resultados que se logren alcanzar con este estudio, serán un aporte para las entidades estatales y todos quienes se interesen por el desarrollo minero, ya que estos antecedentes de más largo plazo ayudan a la formulación de políticas públicas y a mejorar la toma de decisiones para una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico en el país.

Adicionalmente, la disponibilidad de la información que se genera, aportará insumos al sector para elaborar estrategias de mejoras en el manejo del proceso de explotación, el cual contribuirá a un aprovechamiento y optimización del recurso hídrico utilizado en los procesos mineros de los sectores involucrados en el estudio.

CAPITULO 1. CRONOGRAMA Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

A partir de criterios técnicos definidos en conjunto con la UPME y MME, **establecer una muestra de minas tipo de Carbón y de Oro en etapa de explotación**, las cuales serán objeto de caracterización en cuanto a demanda de agua y vertimiento de sustancias contaminantes en las diferentes fases del proceso de producción minera. La captura de información primaria debe tener en cuenta al menos los siguientes criterios de selección:

- Para efectos de este estudio se debe establecer una clasificación de la minería por escala de producción, clase de mineral (Carbón y Oro).

- La muestra de minas debe distribuirse entre los principales departamentos productores de oro y carbón, según el mineral que corresponda.

- La muestra debe considerar como mínimo 32 minas para oro en al menos 4 departamentos productores, y mínimo 16 minas para carbón en al menos 3 departamentos productores.

- Para el caso de minería de oro se seleccionara de común acuerdo con el MME y la UPME un Departamento representativo que evidencie el uso de mercurio en los procesos de beneficio para establecer el comportamiento del mercurio mediante un modelo de distribución espacial y temporal en al menos tres (3) zonas priorizadas o consideradas calientes en tres Departamentos del País.

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Formalización Minera del Ministerio de Minas y Energía –MME y la Subdirección de Planeación Minera de la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME en cumplimiento de la tarea de establecer la línea base que permita evaluar los avances de las obligaciones impuestas por la Ley 1658 de 2013[1], sobre la eliminación programada de mercurio en la minería nacional, desarrollaron la investigación la cadena del mercurio (MME y UPME, 2014[2]) que mostró la existencia de acumulaciones mercuriales en las zonas mineras auríferas y calculó las cantidades de este metal liberadas al ambiente entre otros.

Los resultados reportados en dicho informe indican grados no determinados de afectación a la escorrentía superficial y a los acuíferos por cuenta de las grandes deficiencias en el manejo y la disposición final de vertimientos mineros y resaltando la necesidad de estimar mediante métodos científicos la incidencia real de la minería sobre el recurso hídrico en áreas priorizadas según la actividad extractiva existente.

En igual sentido, el informe sobre consumo de agua y energía en la industria minera (UPME, 2014[3]) constató los grandes volúmenes de efluentes líquidos potencialmente contaminados provenientes de una actividad que es un usuario importante sin ser un gran consumidor.

La filtración de lixiviados conteniendo óxidos, sulfuros, sulfatos, sales y otros compuestos, generados por la alteración química del material minado al contacto con el oxígeno, pueden modificar las características de los acuíferos y la escorrentía superficial como lo presentan de manera preliminar los informes mencionados al indicar sobre la posibilidad de cambios en las condiciones hídricas en áreas intervenidas (MME y UPME, 2014; UPME, 2014).

Por otro lado, la eficiencia en el uso y el consumo de agua en la industria minera, incluido su consumo energético, requieren soluciones tecnológicas y buenas prácticas para

[1] Ley N° 1658. Diario oficial 48.853 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 15 de julio de 2013. Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones.
[2] Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética (2014) Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera del oro: Tomo I. Desarrollado por la Universidad de Córdoba.
[3] Unidad de Planeación Minero Energética –UPME. 2014. Estimación de áreas intervenidas, consumo de agua, energía eléctrica y costos de producción en la actividad minera. Desarrollada por la Universidad Industrial de Santander –UIS.

enfrentar los retos del cambio climático que afectará a las áreas mineras nacionales, así (IDEAM, 2015[4]):

1. Incremento en la precipitación media anual (10% al 30%): Antioquia (occidente), Boyacá (centro), Cauca (occidental y norte), Córdoba, Cundinamarca (norte), Eje Cafetero, Huila, Nariño (andina occidental), Norte de Santander (suroriente), Tolima

2. Disminución en la precipitación media anual (10% al 40%): Amazonas, Antioquia (nordeste y bajo Cauca), Bolívar (sur), Caquetá (sur), Cesar (norte), Cauca (oriental), La Guajira, Magdalena, Meta (piedemonte), Sucre, Vaupés,

De manera consecuente con todo lo anterior, el MME y la UPME se han unido nuevamente y han encargado a la Universidad de Córdoba la investigación de la incidencia real de la minería del carbón, el oro y el uso del mercurio en el recurso hídrico.

Esta herramienta permitirá a la UPME y al MME determinar el grado de eficiencia del uso del agua en la industria minera en términos de cantidad, calidad y disposición de efluentes líquidos (vertimientos). Además de conocer cuán comprometida está la industria minera en la protección y el uso eficiente del agua, esta investigación permitirá desarrollar programas dirigidos al ahorro hídrico en los procesos mineros.

Adicionalmente, esta investigación considera el examen de la relación entre la minería a cielo abierto y por vía subterránea sobre la dinámica fluvial, la disponibilidad futura y la incidencia de las aguas ácidas sobre las corrientes hídricas.

De forma simultánea al manejo de la demanda del recurso hídrico, existe un fenómeno asociado a la movilidad de los contaminantes que están siendo incluidos en los procesos de extracción minera y en el proceso de beneficio auroargentifero, los cuales, como es el caso del mercurio, presentan una evolución temporal y espacial, permitiendo tener una visión del comportamiento temporal de estos contaminantes en las zonas afectadas por la minería; esta metodología la implementaremos en el desarrollo del estudio que estamos abordando con el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.

[4] IDEAM. (2015) Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia (2011 – 2100). Herramientas científicas para la toma de decisiones: Enfoque nacional – departamental. Tercera comunicación nacional de cambio climático. Bogotá. 58 p.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

El objeto de la investigación es el de analizar los efectos causados por la minería de carbón y oro en la calidad del recurso hídrico; además determinar la distribución espacial de las trazas de mercurio relacionadas con la minería aurífera para los departamentos priorizados, permitiendo así generar instrumentos técnicos encaminados a orientar el uso eficiente del agua y promover el cumplimiento de la normatividad ambiental correspondiente dentro del sector.

1.1.2 Objetivo específico

La totalidad de la investigación plantea nueve objetivos específicos; este primer informe de avance responde el primero que establece que a partir de criterios técnicos definidos en conjunto con la UPME y el MME se establecerá una muestra de minas en explotación de carbón y metales preciosos que, en etapas posteriores del proyecto, serán objeto de caracterización según la demanda de agua y el vertimiento de sustancias contaminantes en las diferentes fases del proceso productivo.

Para la captura de información primaria, los investigadores deben tener en cuenta al menos los siguientes criterios de selección:

a. Establecer una clasificación ex profeso de la minería por escala de producción, clase de mineral (carbón y metales preciosos) para este estudio.

b. Elegir la muestra de minas entre los principales departamentos productores de metales preciosos y carbón, según corresponda.

c. Considerar para la muestra un mínimo de 32 minas auríferas en al menos cuatro departamentos productores, y de 16 minas carboneras en al menos tres departamentos productores.

d. Seleccionar, de común acuerdo con el MME y la UPME, un departamento que evidencie el uso de mercurio en los procesos de beneficio aurífero para establecer el comportamiento de éste mediante un modelo de distribución espacial y temporal en al menos tres (3) zonas priorizadas o consideradas calientes en dicho departamento.

1.2 ALCANCES

La información utilizada para seleccionar los departamentos será la de producción histórica reportada públicamente por Minercol (2001 – 2003), Ingeominas (2004 – 2010) y la Agencia Nacional de Minería (2011 – 2014).

La selección de las regiones mineras dentro de los departamentos mineros seleccionados se realizará con base en el criterio de especialistas.

La elección de las minas a muestrear se realizará bajo consideraciones de legalidad en la titularidad minera y el licenciamiento ambiental

La clasificación ex profeso de la minería por escala de producción contará con evaluación de la capacidad de procesamiento diario de la planta de beneficio en el caso aurífero y la capacidad de producción mensual de carbón.

1.3 DEPARTAMENTOS EN EVALUACIÓN

Durante la realización del estudio sobre la cadena del mercurio en Colombia (MME y UPME 2014[5]) se evaluaron los principales departamentos auríferos seleccionados a partir de la producción acumulada entre 2001 y 2013. Continuando con el mismo criterio se eligieron seis departamentos productores de oro que, además, estuvieron incluidos en el mencionado estudio como consumidores de mercurio para actividad minera, esto son: Antioquia, Bolívar, Caldas, Cauca, Chocó y Tolima (Históricamente el Dpto. de Córdoba ha producido más oro que Tolima según los datos reportados por el SIMCO 1990-2014).

De igual manera se consideró la producción histórica de carbón y en número de minas existentes en cada departamento para la selección. Finalmente fueron escogidos tres departamentos con gran tradición minera: Cesar, Cundinamarca y Boyacá.

Debido a la importancia del recurso hídrico futuro se revisaron los escenarios climáticos expuestos por IDEAM (2015), que a su vez resaltaron la decisión inicial basada en producción.

[5] Op. Cit.

1.4 CLASIFICACIÓN DE MINERÍA

Se propone una clasificación de propósito específico para esta investigación de cuatro rangos basada en la capacidad de procesamiento de material minado por unidad de tiempo más que soportada en el área otorgada por el título minero dado que esta no evidencia los aspectos productivos ni la extensión efectivamente intervenida[6]:

- Oro de filón: 1) subsistencia, hasta 1 t/día; 2) pequeña minería, hasta 150 t/día; 3) mediana minería, hasta 300 t/día y; 4) gran minería, mayor que 300 t/día.

- Oro aluvial.: 1) subsistencia, hasta 550 m^3/día; 2) pequeña minería, hasta 2200 m^3/día; 3) mediana minería, hasta 5500 m^3/día y; 4) gran minería, mayor que 5500 m^3/día.

- Carbón: 1) subsistencia, hasta 500 t/mes; 2) pequeña minería, hasta 10.000 t/mes; 3) mediana minería, hasta 50.000 t/mes y; 3) gran minería, mayor que 50.000 t/mes.

[6] En cumplimiento de lo establecido en el literal a del Objetivo Específico 1, se diseñó esta clasificación de propósito específico a partir de criterios técnicos de los expertos en minería.

2. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Durante la ejecución del Contrato Interadministrativo GGC N° 191 de 2014 se encontró una liberación alta de mercurio al ambiente en las regiones mineras auríferas debido al uso indiscriminado, con especial afectación en Antioquia, Chocó, Cauca, Bolívar, Nariño y Córdoba. Dentro de estos departamentos se constató científicamente, mediante muestreos y análisis de laboratorio, la ubicación de sitios altamente contaminados al tiempo que se estimó en 200 tonelada anuales el volumen de mercurio liberado en el país.

El destino final de este mercurio se distribuye en porcentajes no determinados que van a las corrientes hídricas, a los acuíferos, a la atmósfera y a los sedimentos. Por lo que emerge la preocupación sobre los efluentes portantes de mercurio y otros metales tóxicos provenientes de la actividad minera que pueden ser transportados hidráulicamente hasta acueductos, generando riesgos graves reales para la salud de la población. Este riesgo se suma al consumo de pescado en áreas susceptibles a contaminación con estos efluentes.

La percepción generalizada en Colombia del impacto producido por la minería del carbón y del oro sobre la salud humana y el recurso hídrico exige con urgencia el examen científico y técnico que permita establecer con mayor certeza la veracidad de esta percepción al tiempo que proponga soluciones adecuadas con asidero tecnológico, puesto que para la minería el uso del agua es un aspecto crítico por los volúmenes demandadas y vertidas.

Aunque el origen natural o antrópico del cambio climático puede someterse a discusión, sus efectos sobre la precipitación y la temperatura son tan reales como el hecho de que el comportamiento actual del clima no resulta tan previsible como en el pasado; los eventos extremos son ahora más frecuentes e intensos (sequías, lluvias torrenciales, vendavales, entre otros), al igual que los fenómenos de variabilidad climática como El Niño y La Niña.

Bajo la perspectiva del cambio climático, el IDEAM (2015[7]) presenta unos escenarios a 30, 60 y 90 años que, sin ser un pronóstico, proyectan un espectro amplio de

[7] Op. Cit.

posibilidades con respecto al comportamiento futuro del clima y, por lo tanto, una posible condición a enfrentar que plantea variaciones en la precipitación con promedios entre 10% y 30% para 2070 respecto a la media entre 1991 y 2000. Las regiones septentrionales del país serán las más afectadas llegando a superar el 40% de reducción en la precipitación media.

El Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010[8]) llama la atención sobre la necesidad de tomar medidas importantes para la conservación, el ordenamiento, la gestión y la disminución de la contaminación en el recurso hídrico; pues "*el gran problema que se avizora es el de la mala calidad del agua antes que su escasez*" (Campuzano et al., 2012[9], p. 223).

IDEAM (2010) "*teniendo en cuenta la creciente importancia del sector minero, propone el desarrollo de la estimación del uso y consumo del recurso hídrico en el sector minero, a partir de una investigación técnica independiente que permita escalar el limitado conocimiento sobre la gestión del recurso hídrico en este sector y reducir la incertidumbre sobre la sostenibilidad de la actividad minera en zonas con un marcado déficit o escasez hídrica, o donde la oferta hídrica disponible evidencia crecientes conflictos entre sectores productivos competidores (minería versus agricultura) y de demanda para el consumo humano*" (pp. 227 – 228).

Infortunadamente IDEAM (2015 b[10]) sólo incluyó la industria petrolera como representante de las industrias extractivas dejando por fuera la minera aun cuando reconoce nuevamente la importancia del carbón, el oro y el ferroníquel entre otros (p. 44), define la huella hídrica gris como el volumen teórico de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor y el agua virtual como el volumen de agua requerida o contaminada para la producción de un producto o servicio de forma que la exportación de dicho producto incluiría el agua virtual asociada (p. 23).

La razón por la cual la minería no se incluyó en dicho estudio es "*la carencia de información y de la poca disponibilidad de la información existente, lo cual no implica que tengan un impacto poco representativo a nivel nacional en términos de agua azul. Por lo anterior, se recomienda identificar este sector como uno de los puntos focales con los*

[8] IDEAM (2010) Estudio nacional del agua. Bogotá. D.C. 420 p.
[9] Campuzano, C.P., Roldán, G., Guhl, E. y Sandoval, P. Una visión al estado del recurso hídrico en colombia. En: JIMÉNEZ, B. y GALIZIA, J. (Ed.), Diagnóstico del agua en las Américas. México pp. 195 – 225
[10] IDEAM (2015 b) Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014.

cuales es altamente pertinente continuar explorando la aplicación de la huella hídrica" (IDEAM, 2015 b, p. 155)

En concordancia con lo anterior, MADS y PNUD (2014[11]) manifiesta una serie de temores generalizados que ante la falta de información existente no pueden ser comprobados ni desvirtuados: "*Con el incremento en las explotaciones mineras disminuirá la disponibilidad del agua a futuro, dado el aumento en el consumo de agua para el proceso de extracción y la acidez de las aguas utilizadas por la minería*" (p. 17); "*las explotaciones mineras disminuirán la disponibilidad del agua a futuro pues se reduce la oferta del recurso hídrico." (p. 91) y; "La minería del carbón y oro, la agricultura industrial y la ganadería, y los asentamientos humanos están identificados por la Contraloría General de la Nación (2009) como causantes de degradación de la calidad del agua."(*p. 97).

La necesidad de profundizar en el conocimiento de los impactos reales de la minería en el ambiente queda manifiesto en la decepción expresada por MADS y FCV (2012[12]) al indicar que no existen estudios sobre la contaminación con sustancias tóxicas provenientes de la industria minera; en el caso del carbón se lamenta por los pocos estudios existentes; para los metales preciosos reconoce que los estudios no resuelven de manera particular el origen natural o antrópico de los tóxicos excepto para el mercurio en algunos casos y; para el níquel se duele de la inexistencia de estudios con calidad. En los tres casos los autores se ven en la obligación de recurrir a conclusiones sin soportes técnicos para referir casos de afectación ambiental (pp. 287 - 291).

Al referirse a la industria extractiva CGR (2013[13]) indica que "*además del eventual impacto y daño sobre acuíferos o la alteración irreversible en flujo y dirección de aguas subterráneas; en el caso de la minería subterránea, se tiene también un daño en los acuíferos y en el flujo y dirección de las aguas superficiales y subsuperficiales, además de una probable generación de aguas ácidas de mina…*" (pp. 34 y 35).

A escala global la situación del uso y el consumo de agua por la industria minera presentan niveles similares de desinformación y la consecuente conflictividad. En

[11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD (2014) Quinto Informe nacional de biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica. Bogotá, D.C., Colombia. p.101

[12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS y Fundación Cardiovascular de Colombia –FCV. (2012) Diagnóstico nacional de salud ambiental. Bogotá.

[13] Contraloría General de la República –CGR. (2013) Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2012 -2013.

UNESCO y WWAP (2006[14]) se utiliza el ejemplo de Mongolia para indicar que "*la creciente urbanización y la industria minera han contaminado significativamente los recursos hídricos subterráneos y superficiales, lo cual ha tenido un gran impacto sobre los ecosistemas asociados*" (p. 495). Dentro de las conclusiones este documento resalta que "*Deben tomarse medidas urgentes a nivel mundial para empezar a implementar métodos comprobados de tratamiento de las aguas residuales antes de que la situación esté fuera de control. Aquellos tiempos en que los países podían industrializarse sin importarles si contaminaban o no y luego invertir en una limpieza masiva, siempre y cuando pudieran costearse los gastos de la limpieza, ya han pasado a la historia*." (p. 524)

El acceso al agua y la energía, fundamental para las operaciones mineras, figura por primera vez entre los 10 principales riesgos de la industria en particular en países suramericanos y africanos. La competencia por la demanda de agua está empezando a tener un mayor impacto en los costos y la capacidad operativa de una industria que está viendo cómo se reducen las leyes en los yacimientos en explotación. La escasez de agua es un problema que exige respuestas estratégicas y prácticas pues su criticidad ha incrementado al punto de convertirse en un riesgo real en algunos países (EY, 2014[15], pp. 2-3).

Mientras el concepto de licencia social de operación sigue evolucionando y exigiendo mayor robustez en el diálogo entre las empresas y el creciente número de partes interesadas, las expectativas sobre las respuestas de la industria ante los retos climáticos continúan aumentando. Recientemente se ha observado el esfuerzo de muchos gobiernos en reducir la brecha entre las expectativas de la comunidad y las prácticas corporativas. Ya hay evidencia de esto en los requisitos para el acceso al agua y la gestión de residuos (EY, 2014, p. 18).

Según los ejecutivos de las empresa consultadas por EY, los crecientes costos de energía y la competencia por el acceso al agua ha comenzado a impactar los gastos operativos (opex) y la capacidad operativa de las compañías (EY, 2014, p. 18). El caso más llamativo en la actualidad es el de Minera Escondida en Chile que desalinizará agua marina para transportarla por 114 km de ductos hasta los 3100 metros sobre el nivel del mar. Ante la necesidad de avanzar en el conocimiento de la relación entre la minería y el recurso hídrico, el MME y la UPME se han unido para estimar la demanda, la calidad

[14] United Nations Educational, Scientific and Cultura Organization –UNESCO y World Water Assessment Programme –WWAP. (2006) Agua: Una responsabilidad compartida. 2° informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídrico en el mundo. París. p. 550
[15] EY (2014) Bussines risks facing mining and metals 2014 – 2015. p. 55.

y los impactos asociados. Puesto que los productos mineros de mayor producción y controversia en Colombia son el carbón y el oro se decidió comenzar por ellos en esta investigación.

Este estudio diagnosticará, con fundamento en información primaria y secundaria, el aprovechamiento hídrico para los dos subsectores mineros socio-ambientalmente más controversiales. Los resultados finales, expresados en lineamientos y estrategias tecnológicas, brindarán las herramientas técnicas necesarias para generar un plan de ahorro y uso eficiente del agua en la extracción minera respondiendo así al clamor de las diferentes entidades nacionales y contribuyendo a cumplir los compromisos sectoriales fijados en planes, estrategias y políticas relacionadas con minería responsable y protección del recurso hídrico.

Se espera entonces que además de ofrecer correctivos que encaminen la actividad minera hacia una huella hídrica aceptable para la sociedad, esta investigación aporte al cumplimiento de las normas que el Estado colombiano ha fijado en este sentido como el Decreto Ley 2811 de 174, el Decreto 3930 de 2010 y la Ley 373 de 1997 que en los Artículos 3, 4 y 5 establece que los usuarios del recurso hídrico deben presentar a las autoridades ambientales programas de uso eficiente y ahorro del agua y que a la autoridad ambiental le corresponde definir metas de ahorro, de uso y reúso del agua.

2.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA CON LA MINERÍA

A partir de los años 2000, las utilidades económicas provenientes de la minería en Colombia, México y Perú se han incrementado, producto del aumento en el precio de las materias primas y por ende, del mayor incentivo de los empresarios mineros a ampliar su explotación en este sector. La mayor producción fue facilitada por una mayor apertura, a raíz de los nuevos tratados de libre comercio, que permitieron ampliar la inversión extranjera directa en estos países y a las mayores concesiones mineras otorgadas por parte de los gobiernos. Sin embargo, las altas utilidades e inversiones que se han originado en la industria minera también han estado acompañadas de altos costos sociales y ambientales que se han manifestado en numerosos conflictos.

En general, el origen de estos conflictos ha sido transparente y ha mostrado algunos vacíos en el marco institucional de los países en estudio así como en la gestión política para tratar de evitarlos, mitigarlos o solucionarlos. La falta de una legislación minera (que incluya leyes ambientales, sociales, laborales, territoriales, entre otras) alineada a estándares internacionales y, sobre todo, que sea firme al monitorear y sancionar la falta de cumplimiento de las políticas de desarrollo sostenible de los países, ha sido uno de los factores que ha estado presente en los conflictos.

De acuerdo al Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (OCMAL), en la tabla 1 se puede apreciar que entre los países de América Latina que mantienen actividades mineras, Perú es el que tiene actualmente el mayor número de conflictos mineros (33) junto con Chile, mientras que México cuenta con 26 conflictos y Colombia con 12[16]. Los conflictos han sido principalmente de dos tipos: a) entre las compañías mineras y las comunidades afectadas; y b) entre niveles de gobierno, especialmente entre el gobierno central y las autoridades locales[17]

Tabla 1. Conflictos Mineros En América Latina Y El Caribe, julio 2013

País	Número
Argentina	26
Bolivia (Estado Plurinacional de)	8
Brasil	20
Chile	33
Colombia	12
Costa Rica	2
Ecuador	7
El Salvador	3
Guatemala	6
Guyana Francesa	1
Honduras	3
México	26
Nicaragua	4
Panamá	6
Paraguay	1
Perú	33
República Dominicana	4
Trinidad y Tobago	1
Uruguay	1

Fuente: Elaborado sobre la base de datos del Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL).

[16] En este estudio se consideraron los conflictos publicados en julio de 2013 por OCMAL (que son los conflictos que cubre la Prensa) con el fin de hacer comparables los datos entre Colombia, México y Perú. Sin embargo, de acuerdo al Reporte Conflictos Sociales Núm. 112 que mensualmente publica la Defensoría del Pueblo en Perú (junio 2013), que incluye todos los conflictos mineros de este país, se observa que estos son mucho mayores a los reportados por OCMAL. De acuerdo al último reporte disponible, el número de casos relacionados a conflictos sociales en Perú ascendió a 223, de los cuales 170 correspondieron a conflictos activos y 53 a los latentes. Del total de estos conflictos, 145 conflictos son de tipo socioambiental, de los cuales, 105 (72,4% del total) se originan en la minería

[17] CEPAL - Serie Macroeconomía del Desarrollo N° 137 Desarrollo minero y conflictos socioambientales

De acuerdo a los informes de OCMAL, en los tres países en estudio se aprecia como la contaminación del agua, de las tierras y del aire, con sus consecuencias para la salud, así como la restricción o escasez de agua potable, los problemas territoriales, la falta de consulta previa e informada a las comunidades afectadas, la violación de los derechos humanos, y el no cumplir con las Políticas de Responsabilidad Corporativa Social de algunas mineras extranjeras han sido las principales causas detonantes de conflictos. Asimismo, una de estas causas o una combinación de ellas asociadas a la lucha por mayores beneficios económicos entre los actores involucrados han propiciado aún un mayor número de conflictos[18].

A continuación se analiza el papel que han jugado los tres actores dentro de los conflictos mineros que han surgido en Colombia

Conflictos entre las compañías mineras y las comunidades afectadas

Son diversas las causas que han propiciado los conflictos entre las compañías mineras y las comunidades afectadas pero, al analizar los conflictos expuestos por el OCMAL, las más recurrentes son las relacionadas: i) al impacto ambiental; ii) a los problemas territoriales, ligados en muchos casos a la falta de consulta previa e informada; iii) a la violación de los derechos humanos; iv) a la falta en el cumplimiento de las Políticas de Responsabilidad Corporativa Social (RCS) y v) a una combinación de las citadas causas sumada a la lucha por mayores beneficios económicos. A continuación se analizan y presentan algunos ejemplos de proyectos mineros que han provocado conflictos en Colombia, identificando las principales causas que los originaron.

Conflictos vinculados al impacto ambiental de la actividad minera

El gran problema al que se enfrenta cualquier país que mantenga actividades mineras es el de preservar su medio ambiente. Debido a las sustancias químicas contaminantes que resultan como residuo en varias actividades mineras, los ecosistemas en muchas regiones se han visto afectados.

Muchos trabajos de exploración y explotación han causado daños, en muchos casos irreversibles, en zonas de manantiales, acuíferos, ríos, lagunas, entre otras. En lo últimos años, a raíz del boom en el precio de las materias primas, las ganancias económicas que ha generado la minería han sido extraordinarias, pero observando los casos de impacto ambiental expuestos por el OCMAL, El daño ambiental también ha sido alto. En la

[18] CEPAL - Serie Macroeconomía del Desarrollo N° 137 Desarrollo minero y conflictos socioambientales

mayoría de los proyectos mineros que se desarrollan en el país, la principal preocupación de las comunidades afectadas ha sido los impactos ambientales existentes y potenciales.

Al analizar los conflictos mineros en Colombia expuestos por el OCMAL se confirma que el impacto ambiental ha sido una de las principales causas de conflictos. Las mineras se han establecido frecuentemente en zonas de extrema pobreza y junto a comunidades donde la agricultura, la pesca y la ganadería han sido la principal fuente de recursos por décadas. La industria minera requiere de cantidades extraordinarias de agua por lo que muchas comunidades han sufrido la escasez de este recurso no sólo para desarrollar sus actividades económicas sino también para satisfacer sus necesidades básicas de agua potable. Lo anterior ha generado un gran descontento entre la gente por las precarias situaciones en que viven. También se muestran casos en que las poblaciones disponen de agua, pero con elementos tóxicos.

Las fuentes de contaminación se han dado principalmente de dos formas: cuando accidental o deliberadamente se liberan residuos de sus operaciones hacia cuencas, ríos, lagunas, napas subterráneas etc., es decir hacia las fuentes de los recursos hídricos y cuando las compañías mineras transportan los residuos tóxicos. Como resultado de la liberación de restos mineros así como del transporte de forma inadecuada, muchas comunidades han estado expuestas a metales pesados (cianuro, plomo, cadmio, arsénico, mercurio, hierro, manganeso, selenio, entre otros) con sus respectivas consecuencias para la salud; En Colombia, se han presentado Conflictos por la exposición a metales pesados por ejemplo: Proyecto carbonífero de Carbones del Oriente S.A.(CARBORIENTE) entro en conflicto con las Comunidades agropecuarias del Municipio de Cerrito y el Proyecto Carare Opón representado por Río Tinto el cual afectó las Comunidades del Municipio de Landázuri[19]

Por otra parte, muchas empresas mineras han optado, si el yacimiento se los permite, por llevar a cabo la explotación de las minas “a cielo abierto”. Este tipo de minería requiere muchas veces excavar, por medios mecánicos o explosivos, los terrenos que recubren o rodean el yacimiento, hecho que resulta muy contaminante. La minería a cielo abierto resulta muy atractiva para las empresas mineras debido a que, en la mayoría de los casos, es más rentable que la minería subterránea, ya que esta última requiere de un empleo mayor de tecnología. Por ser altamente contaminante, diversas poblaciones afectadas se han manifestado en contra de este tipo de proyectos; en Colombia tenemos como ejemplos: Proyectos como El Cerrejón con la Empresa Anglo-American Chile, que afectó la Comunidad de Tabaco y otro caso como BHP Billiton que afectó la Comunidad

[19] Elaborado sobre la base de datos del Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL). 2013

Wayuu. Otros casos como el del proyecto de angosturas, donde las empresas Greystar Resources Limited y Greystar Res. Ltd Suc. Colombia tuvieron conflictos con las Comunidades agromineras de los municipios de Vetas y California.[20]

Los conflictos y problemas ambientales que se han generado en otros países, asociados a la actividad minera deben ser vistos como una experiencia a partir de la cual Colombia debe apalancarse e impulsar alternativas que minimicen los conflictos con las comunidades que se encuentran en las zonas con proyectos mineros en cualquiera de sus etapas de procesamiento.

[20] Elaborado sobre la base de datos del Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL). 2013

3. ANÁLISIS DE LA MINERÍA DE CARBÓN EN COLOMBIA

3.1 LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN

Entre 2000 y 2012 Colombia multiplicó más de dos veces su producción de carbón al pasar de 38,2 millones de ton a 89,2 millones de ton. En ese período, su participación en la producción mundial de carbón pasó de representar 0,8% a 1,1%, situándose como onceavo productor a nivel mundial del mineral (Gráfico 1). En América Latina, Colombia es el principal productor de carbón, donde su participación en la producción pasó del 71% en 2000 al 92% en 2012[21]. Después de China, Estados Unidos, India, Australia, Suráfrica, Rusia, Indonesia, Kazajistán y Polonia. Este mineral proporciona el 29.6% de las necesidades mundiales de energía primaria y genera el 42% de la electricidad del mundo.

Separando los tipos de carbón, la participación de Colombia en la producción mundial de carbón antracita y bituminoso se incrementó al pasar de 1% en 2000 a 1,3% en 2011. Por otro lado, la participación de la producción colombiana de carbón metalúrgico se mantuvo alrededor del 0,2% y 0,3%, entre 2000-2012 (cálculos con datos de EIA, 2013).

Después del carbón, que representa el 88% de la extracción minera del país, el níquel y el oro son los productos mineros colombianos más representativos en los mercados internacionales. En el caso del níquel, Colombia ocupa el séptimo lugar en el mundo con el 4.53% de la producción mundial, y es el vigésimo segundo productor de oro con un 1.2 % de la producción mundial.

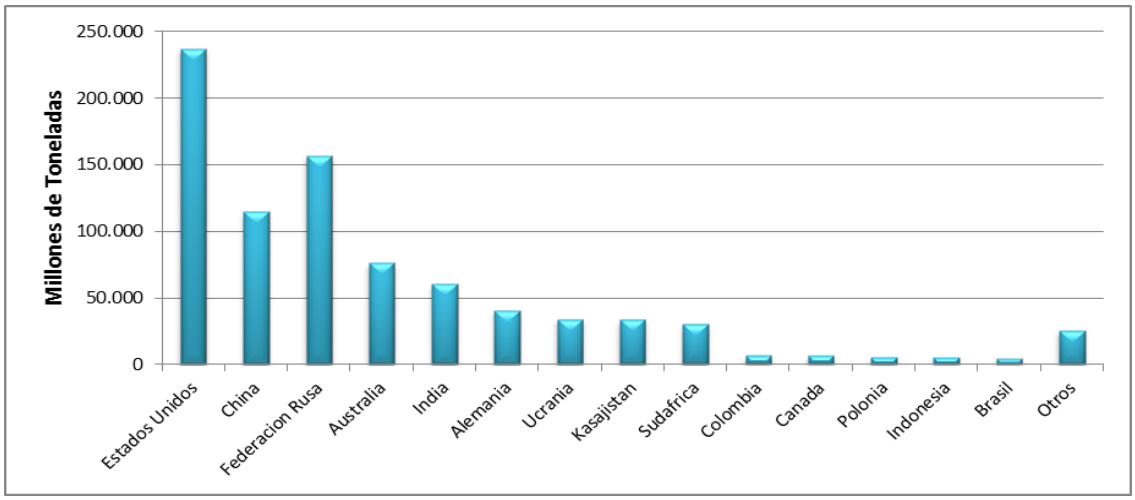
El carbón colombiano es reconocido mundialmente por tener bajo contenido de cenizas y azufre, y ser alto en volátiles y en valor calorífico, estas características han hecho que se convierta en uno de los países de exportación mundial haciéndolo competitivo frente a otros mercados, cabe anotar que la producción de carbón se mantiene en creciente evolución en los últimos años.

Según Statistical Review of World Energy Full Report, 2011, los principales productores de carbón a nivel mundial son: China, Estados Unidos, India, Australia, Sudáfrica, Rusia, Indonesia y Kazajistán, con producciones anuales superiores a los 100 Mt, los cuales aportan cerca del 93,22% de la producción mundial. Polonia, Colombia, Ucrania y

[21] FEDESARROLLO 2014. “Definición y análisis de alternativas para desarrollar un Plan de choque en el sector productor de Carbón al interior del país”

Canadá presentan producciones anuales entre los 34 a 77 Millones de toneladas (Mt) tal como se muestra en el grafico 1.

Gráfico 1. Reservas de Carbón a nivel mundial (millones de toneladas)



Fuente: Statistical Review of World Energy Full Report 2011, British Petroleum Company

Es de gran importancia contar con la riqueza minera carbonífera del país, al saber que Colombia contiene las mayores reservas de Carbón en América Latina y posee recursos potenciales de 16.436 millones de toneladas, de los cuales 6.508 millones de toneladas son medidas (Mt) (A diciembre de 2011), 4.571 Mt son indicadas, 4.237 Mt son inferidas y 1.120 son recursos hipotéticos (Cadena de Carbón, 2012).

El Carbón además de ser generador eléctrico, también es empleado para gasificación, producción de coque, en la producción de benzol, aceites alquitrán y mediante la licuefacción, como sustituto del petróleo.

En el país se encuentran principalmente tres tipos de carbón que son: Térmico, Metalúrgico y Antracita, convirtiéndose Colombia en el cuarto exportador mundial de carbón térmico, que proviene principalmente de los departamentos de la Guajira y Cesar.

Por lo general, los procesos en las etapas de minería de carbón, se realizan a cielo abierto, primero se consideran las actividades como diseño de ingeniería, legalizar la explotación, adquirir el terreno y presentar el proyecto a la comunidad. Seguido de la etapa de montaje, donde se aplica el descapote, remoción de la capa vegetal y suelo, que habitualmente incluye también desviación de cauces de rio y arroyos, adicionalmente incluye construcción de infraestructura para operación minera y soportes de apoyo como:

bodegas, oficinas, talleres, entre otras. Estas actividades requieren de demanda de bienes y servicios requeridos por el personal y los equipos, que a su vez generan una gran demanda de mano de obra directa en indirecta.

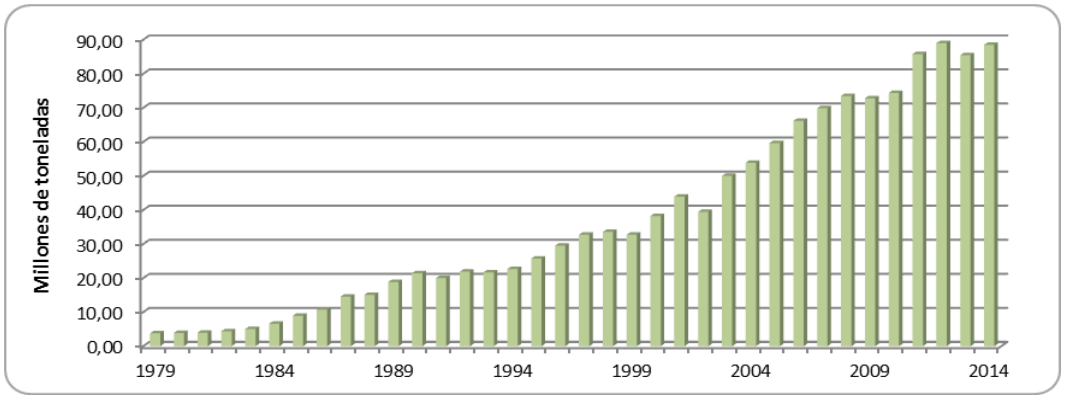
En la tercera etapa, dedicada a la explotación del carbón se realizan actividades como la perforación y voladura con explosivos del terreno, y comienza la excavación y extracción de las capas de estéril, seguido de todas las acciones y maquinaria que requiere su cargue y transporte hacia los lugares destinados para su acopio, conocidos como botaderos externos y los de retrollenado, estos últimos localizados en antiguos tajos; y la actividad misma que implica la conformación de estos sitios de disposición.

Adicionalmente, esta etapa de explotación incluye excavación para la extracción del mineral que de igual forma al estéril debe ser cargado y transportado hacia los centros o patios de acopio de carbón, donde este es almacenado y manejado según las especificaciones para su comercialización; el transporte puede incluir el uso de vías férreas y finalmente transportes fluviales y marítimos para su exportación. Simultáneamente a estas actividades, se efectúan todas aquellas relacionadas con la operación y mantenimiento de equipos y maquinaria, instalaciones industriales y domésticas de soporte a la operación minera, así como a la infraestructura vial usada para el transporte del carbón.

Finalmente, la cuarta etapa se denomina cierre, la cual involucra el desmonte y abandono del ciclo minero, la rehabilitación y re-vegetalización de los suelos degradados y en algunos casos se produce un balance y evaluación de cumplimiento de los Planes de Manejo Ambiental (PMA), Planes de Monitoreo y Seguimiento Ambiental (PMSA), y ayuda a la comunidad (Valoración Económica Ambiental en la Zona Carbonífera del Cesar, 2010).

Teniendo en cuenta los datos suministrados del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), Colombia hace parte de los países productores a nivel mundial, con 74,35 Mt y que para el año 2012 se presentó un incremento de 89 Mt y disminuyo en el año 2013 a 85 Mt, esto se debe al crecimiento de los proyectos mineros en los Departamentos de la Guajira y Cesar (Grafico 2).

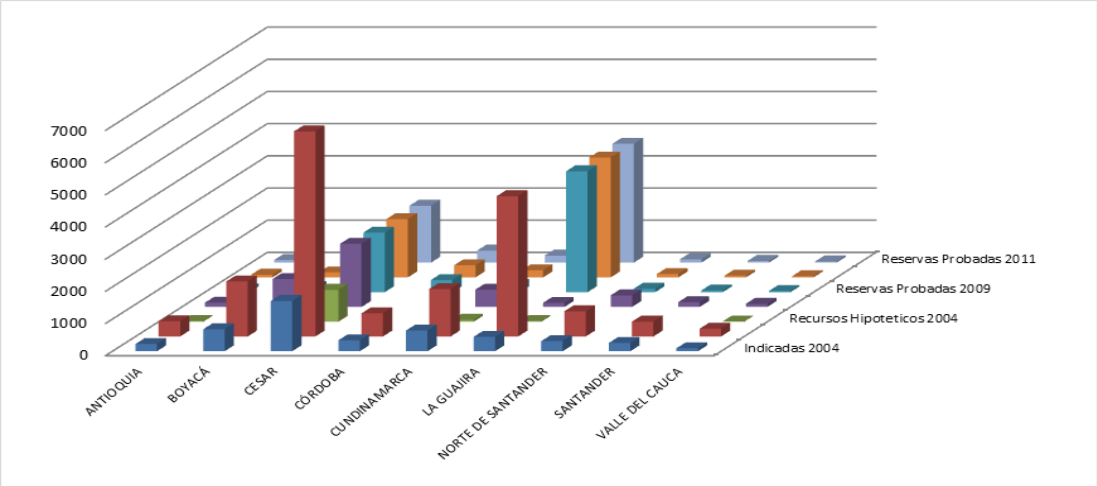
Gráfico 2. Producción de Carbón en Colombia 1980 -2013



Fuente:1990-2000 Histórico MME; 2001-2003 Minercol; 2004 - 2011 Ingeominas; 2012 en adelante Servicio Geológico Colombiano[22].

La producción del carbón en los últimos diez años ha tenido un crecimiento promedio anual de 8% (Grafico 2). En la Costa Atlántica se encuentra el 89.80% de la producción nacional de Carbón, que corresponde al 98% del carbón térmico, específicamente en los departamentos de la Guajira y Cesar como se observa en la Grafico 3.

Gráfico 3. Reservas de Carbón



Fuente: INGEOMINAS, UPME.

[22] Consultado en http://www.simco.gov.co/?TabId=121

3.1.1 Carbón térmico

La mayor parte del carbón se utiliza para la generación de electricidad, carbón térmico o lignito.

El consumo mundial de carbón térmico presenta en el periodo 2005-2010 un crecimiento de aproximadamente 10,6% en promedio y se mantiene alrededor de 4.718 Mt en igual periodo. En el año 2005, el consumo mundial de carbón térmico fue de 4.251 Mt, pasando alrededor de 5.437 Mt en el año 2010 a nivel mundial.

Colombia es el cuarto país exportador de Carbón térmico, los pronósticos hacen notar que Colombia puede suplir exportaciones al mercado europeo, a pesar del crecimiento y auge de las exportaciones de Estados Unidos a este mismo mercado.

La producción de carbón térmico proviene en su mayor parte de los proyectos, hoy denominados de interés nacional y otros proyectos mineros localizados en la Costa Atlántica y en menor medida de las explotaciones localizadas en el interior del país, como se observa en la tabla 2 y Grafico 4.

3.1.2 Carbón Metalúrgico o Coquizable

China, Australia, Rusia, Estados Unidos, India, Canadá y Ucrania concentran el 92,78% de la producción mundial de carbón coquizable. China es el principal productor de dicho mineral con aproximadamente el 50,85% del volumen mundial, representado en 416,5 Mt. La región de Asia se ha constituido en el mayor importador mundial de carbón coquizable.

En Colombia la producción de carbón metalúrgico proviene principalmente de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander, en menor cantidad que el carbón térmico tal como se aprecia en la tabla 2 y grafico 4.

3.1.3 Coque

El coque es un combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso calentado a temperaturas de 500 a 1100ºC sin contacto con el aire, de color negro a gris metálico, poroso y poco denso, que arde sin llama y tiene gran poder calorífico. Contiene, en gran parte, carbono (92%) y en menor cantidad ceniza (8%), se emplea principalmente como reductor en la industria siderúrgica para la fabricación de acero y la producción de hierro.

La producción mundial de Coque se da principalmente por los países de Japón, Estados Unidos, Corea, Polonia, Alemania, Inglaterra, Italia, Turquía y Francia.

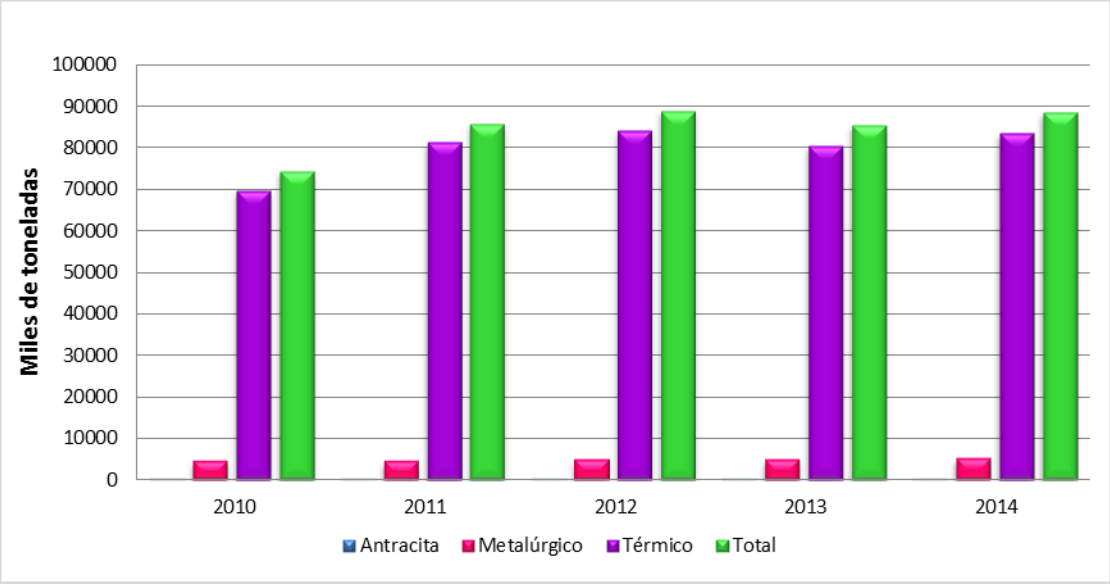
En Colombia la producción de coque para el año 2010 fue de 2,08 Mt, volumen que supera la producción de Australia, Eslovaquia, Holanda, Austria, Suecia, Hungría y Bélgica, que fueron inferiores a 2,00 Mt.

Tabla 2. Producción por tipo de carbón 2010 - 2014.

Año	Producción (miles de toneladas)			
	Antracita	Metalúrgico	Térmico	Total
2010	2,03	4.571,21	69.776,89	74.350,13
2011	1,49	4.418,98	81.382,76	85.803,23
2012	0,59	4.906,14	84.117,60	89.024,32
2013	3,2	4.892,93	80.599,93	85.496,06
2014*	5,62	5.104,12	83.468,23	88.577,98

Fuente: Ingeominas; SGC, ANM, DANE (Comercio Exterior), Productores, Consumidores y UPME (Balance Energético Nacional). Periodicidad trimestral

Gráfico 4. Producción por tipo de Carbón



Fuente: Ingeominas; SGC, ANM, DANE (Comercio Exterior), Productores, Consumidores y UPME (Balance Energético Nacional). Periodicidad trimestral

3.2 PRINCIPALES DEPARTAMENTOS PRODUCTORES

Los recursos y reservas de Carbón se encuentran distribuidos en las tres cordilleras colombianas y han sido calculados de acuerdo al Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón establecido por Ecocarbón en1995.

Las zonas carboníferas de La Guajira y Cesar son las mejores conocidas y con un mayor potencial de carbones térmicos tipo exportación. Debe anotarse que estas zonas tienen unos costos de producción y de infraestructura de transporte y embarque que las hace altamente competitivas con respecto a países como Venezuela, Estados Unidos, Sudáfrica, Australia, entre otros.

En la costa Atlántica, el área de San Jorge en el departamento de Córdoba, abastece principalmente el mercado interno.

En relación con las zonas carboníferas del interior del país, sobresalen las zonas de Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá, por poseer las mayores reservas de carbón metalúrgico y térmico para el consumo nacional y de exportación.

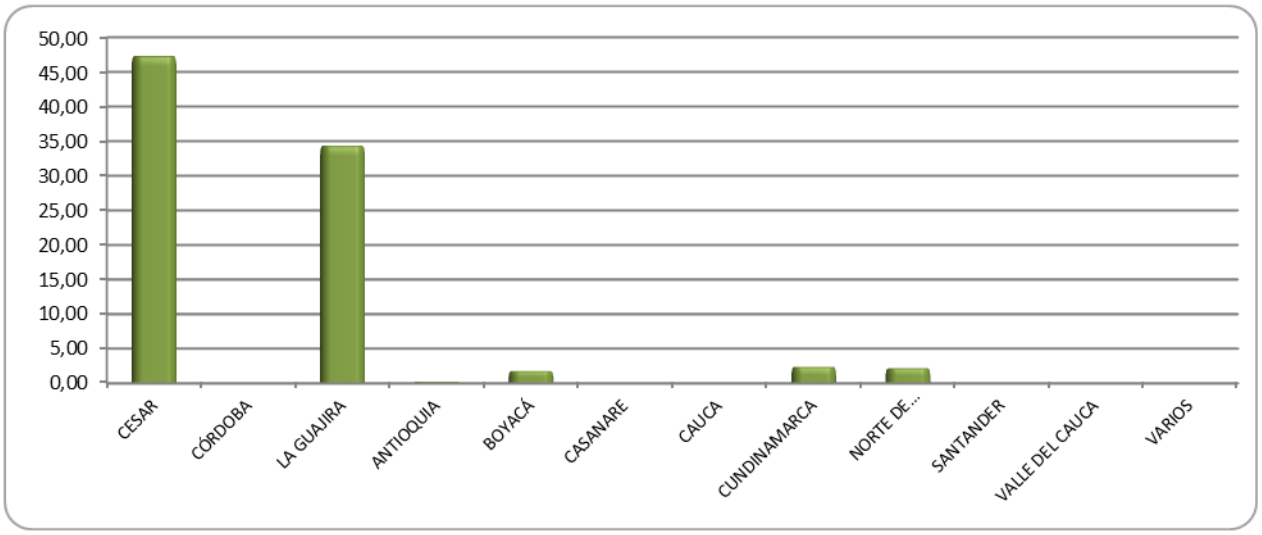
Existen otras zonas con un menor potencial como las de Antioquia - Antiguo Caldas y Valle del Cauca y Cauca, con carbones térmicos para consumo interno y otras zonas como Santander con un potencial de carbones térmicos, metalúrgicos y antracíticos.

Tabla 3. Producción de Carbón por Departamento (2005 – 2014)

Departamento	Produccion (Kton)									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ZONA COSTA ATLANTICA										
CESAR	27.709,5	31.118,3	33.186,6	33.676,2	34.050,1	36.015,5	43.687,6	46.678,9	45.068,8	47.306,2
CÓRDOBA	183,3	512,1	481,0	493,2	392,3	100,4	311,8	224,2	16,4	136,8
LA GUAJIRA	27.180,0	29.073,5	30.069,5	31.939,9	31.430,9	31.098,3	33.355,6	35.092,7	33.296,3	34.357,8
ZONA INTERIOR										
ANTIOQUIA	488,2	427,6	230,1	403,9	655,8	149,4	334,0	155,3	108,7	264,7
BOYACÁ	1.280,1	1.756,4	2.275,2	2.231,0	2.276,2	2.675,9	2.754,0	2.625,3	2.723,3	1.772,1
CASANARE									0,8	3,0
CAUCA									40,8	24,3
CUNDINAMARCA	1.176,3	1.074,0	1.784,7	2.405,7	1.941,6	2.056,1	3.063,2	1.700,3	2.408,4	2.387,7
NORTE DE SANTANDER	1.403,6	1.931,3	1.691,3	2.085,2	1.938,4	2.117,2	1.901,9	2.396,4	1.686,6	2.198,0
SANTANDER									139,4	102,1
VALLE DEL CAUCA	210,1	112,6	49,6	79,1	0,0	0,0	108,8	32,1	6,5	25,3
VARIOS	44,0	186,1	134,3	188,0	122,0	137,3	225,4	47,3		

Nota: las series 2004, 2005 y 2006 han sido corregidas por Ingeominas. Estos datos son basados en regalías.
Fuente: 1994-1997 Ecocarbon; 1998-2003 Minercol; 2004 - 2011 INGEOMINAS; 2012 en adelante Servicio Geológico Colombiano. Los datos del 2015 actualizados al I trimestre.

Gráfico 5. Producción de Carbón por departamentos (Millones de Toneladas)



Fuente: 1994-1997 Ecocarbon; 1998-2003 Minercol; 2004 - 2011 INGEOMINAS; 2012 en adelante Servicio Geológico Colombiano. Los datos del 2012 actualizados a I trimestre.

3.3 PRINCIPALES CASOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES RELACIONADOS CON CARBÓN

Colombia tiene la oportunidad para desarrollar el sector minero adecuadamente y a través de él lograr mayor desarrollo para la comunidad. Sin embargo, es necesario darse cuenta de la dimensión ambiental que trae la extracción minera. Por un parte, asegurarse que el crecimiento del sector minero traiga consigo un desarrollo sostenible que no tenga impactos negativos sobre futuras generaciones y por otra parte, tener claridad sobre las acciones y mejores prácticas utilizadas por las empresas mineras, especialmente las de gran escala, ya que son ellas quienes generan mayores impactos negativos ambientales, que permite entablar un diálogo claro con las comunidades y la sociedad sobre los verdaderos riesgos de la extracción minera y cómo enfrentarlos.

Es necesario diferenciar que la explotación del carbón se realiza a cielo abierto y bajo tierra, de tal manera que los impactos son distintos en magnitud y tamaño. Se ha llamado la atención sobre dos aspectos centrales: el volumen de material que es preciso remover por cada tonelada de carbón extraído, así como eventuales efectos inciertos sobre las aguas subterráneas y los acuíferos. Asimismo, sobre los impactos que se puedan generar sobre la salud de los trabajadores directos y, en general, sobre la población del área de influencia de la actividad minera. Sin que existan registros oficiales sobre estos aspectos, sí hay referencias que permiten ilustrar la existencia de estos riesgos.

En primer lugar, con base en información reportada por las dos empresas más grandes que operan el Colombia, Cerrejón y Drummond, se estima que existe una relación del orden de diez partes de escombros y residuos generados por cada parte de carbón finalmente obtenido[23].

Para identificar los impactos ambientales en la minería del carbón, es necesario realizar la caracterización de los tipos de minería por tamaños, diferentes a la gran minería debido al uso común de expresiones como minería artesanal, informal, ilegal, de hecho, ocasional y pequeña, cuyos rasgos específicos no se han establecido con claridad. Las principales características de los diferentes tipos de minería para el carbón, según su tamaño se resumen a continuación.

Tabla 4. Caracterización según tipos de minería para el carbón

	Minería de subsistencia	Pequeña Minería	Mediana Minería	Minería de gran escala
Nivel de tecnificación	Bajo o inexistente	Bajo	Bajo - Medio	Alto
Tamaño de la mina	Pequeña	pequeña	Mediana	Grande
Ubicación geográfica	Desfavorable	-	Relativamente favorable	Relativamente favorable
Responsables	Grupos familiares	Familias y empresas pequeñas	Empresas medianas	Empresas grandes, con capital multinacional
Legalidad	Baja	Baja	Alta	Alta
Estándares de seguridad ambiental y laboral	Bajos	Bajos	Altos	Altos
Mano de obra	No calificada	Poco calificada	Calificada y no calificada	Calificada
Control del impacto ambiental	Nulo	Bajo o medio	Bajo o medio	Alto
Capital de trabajo	Bajo o inexistente	Bajo o Medio	Medio	Alto
Capacidad financiera	Nula	Baja	Media	Alta
Rentabilidad	Nula	Baja	Media	Alta

Fuente: FEDESARROLLO. Impacto socioeconómico de la minería en Colombia. 2012.

Las prácticas mineras inoportunas pueden tener impactos ambientales irrevertibles como destrucción de ecosistemas, contaminación y afectación de la disponibilidad del agua y perjuicio de áreas protegidas ambientalmente.

[23] Minería en Colombia: derechos, políticas públicas y gobernanza.2013. Contraloría General de la República. Bogotá

El carbón a nivel mundial, es considerado como fuente de energía que produce mayor contaminación en todas las etapas de su producción (minería, transporte, almacenamiento, preparación y transformación) y durante su consumo (Mamurekli, 2010).

El impacto de la minería de Carbón en el medio ambiente varía dependiendo de los factores que se presenten en la actividad, por ejemplo, sí la mina está activa o abandonada, métodos de extracción utilizadas, condiciones ambientales, climáticas y geológicas de su ubicación, cerca de zonas urbanas, entre otros. Sin embargo en todos los casos tendrá efectos en animales, organismos vegetales, el suelo y seres humanos, debido a la destrucción del hábitat o liberación de contaminantes al ambiente.

Dentro de los problemas más reconocidos de la minería de carbón, en particular la realizada a cielo abierto, es la contaminación del aire, debido principalmente a emisiones de partículas, tanto de carbón como otros materiales, incluyendo gases como metano, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.

Otro problema que requiere de especial atención es la contaminación de aguas limpias que deben ser evacuadas para permitir el avance de las operaciones mineras carboníferas. Las aguas que transitan por la mina acaban oxigenándose y acidificándose al entrar en contacto con material de los respaldos, carbón fracturado, maderas de sostenimiento, y otros desechos, además de recoger sólidos en suspensión, sólidos disueltos en forma de compuestos de metales, sales y material orgánico, metales pesados que se convierten en serios contaminantes. Este problema se agrava por la presencia de minas abandonadas cerca de otras minas en explotación, ya que el agua las recorre fácilmente y luego al desembocar en cursos de aguas limpios la contaminación acaba diseminándose.

El impacto que se genera sobre las aguas representa un problema importante si se tiene en cuenta que los diferentes acueductos municipales necesitan usar estas aguas para el consumo humano y más aún en lugares donde no tienen suficiente recurso hídrico para abastecerse y tienen pocas opciones de escoger el agua que van a utilizar, La descontaminación de tales aguas conteniendo altas cantidades de hierro genera mayores costos y en muchos la imposibilidad de remover el hierro no permite su uso, a continuación se muestran algunos de los efectos ambientales relevantes en la actividad carbonífera.

De manera resumida, la actividad extractiva de carbón causa en el ambiente:

- Grandes transformaciones en el paisaje
- Alteración de la dinámica hidráulica de la región
- Contaminación de aguas, suelos y aire
- Cambio drástico de las coberturas del suelo

- Afectación de las especies de flora y fauna
- Cambios del uso de los suelos
- Pérdida total de las actividades agrícolas y pecuarias

Para las empresas mineras, el problema ambiental de su actividad se centra en la emisión de partículas que afectan el agua y principalmente, la calidad del aire. Las comunidades mencionan otra serie de afectaciones.

Gráfico 6. Algunos efectos ambientales de la minería carbonífera

Fuente: Contraloría General de la Republica. Minería en Colombia: Institucionalidad y Territorio, paradojas y conflictos vol. 2. Pág. 232

Respuesta tecnológica a la contaminación por minería del carbón

Las tecnologías limpias del carbón (TLC) son toda una gama de opciones tecnológicas que mejoran el rendimiento ambiental del carbón. Estas tecnologías reducen las

emisiones y los residuos, mientras que aumentan la cantidad de energía obtenida por cada tonelada de carbón.

Existen diferentes tecnologías para cada tipo de carbón y abordan diferentes problemas ambientales. La selección de tecnologías también puede depender del nivel de desarrollo económico de un país. Las tecnologías más avanzadas y costosas puede que no sean las más adecuadas en los países en desarrollo, por ejemplo, ya que existen opciones disponibles más económicas que pueden suponer un beneficio ambiental más asequible.

Reducción en las emisiones de material particulado

Las emisiones de material particulado y las cenizas, ha sido uno de los efectos colaterales más visibles de la combustión de carbón en el pasado. Pueden afectar la visibilidad en la zona, generar problemas de polvo y afectar el sistema respiratorio de la gente. Existen tecnologías para reducir y, en algunos casos, casi eliminar las emisiones de material particulado.

Limpieza del carbón

La limpieza del carbón, también denominada preparación del carbón, aumenta el valor térmico y la calidad del carbón reduciendo los niveles de azufre y de materias minerales. El contenido de cenizas del carbón puede reducirse en más de un 50%, ayudando a reducir los residuos de la combustión del carbón. Esto resulta especialmente importante en aquellos países en los que el carbón se transporta a la largo de grandes distancias antes de su uso, ya que mejora el rendimiento del transporte al eliminar la mayoría del material no combustible.

La limpieza del carbón también ayuda a mejorar la eficacia de las centrales termoeléctricas de combustión de carbón, lo que lleva a una reducción en las emisiones de dióxido de carbono.

Precipitadores electrostáticos y Filtros de tejido

Las partículas resultantes de la combustión de carbón pueden controlarse mediante precipitadores electrostáticos (ESP) y filtros de tejido. Entre ambos se puede llegar a eliminar el 99,5% de las emisiones de material particulado y se aplican ampliamente tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo.
Los precipitadores electrostáticos, los gases cargados con partículas pasan entre varias bandejas de recogida, donde un campo eléctrico crea una carga en las partículas. Esto atrae las partículas hacia las bandejas de recogida, donde se acumulan y desde las que se pueden eliminar. Los filtros de tejido, también conocidos como “cámaras de sacos”, suponen un enfoque alternativo y recogen las partículas de los gases de las chimeneas

mediante un tamiz de tejido ligero. El uso de equipos de control de material partículado tiene un gran impacto en el rendimiento ambiental de las centrales termoeléctricas de combustión de carbón.

4. ANÁLISIS DE LA MINERÍA DE ORO EN COLOMBIA

4.1 LA PRODUCCIÓN DE ORO

El incremento significativo de los precios internacionales del oro, en los años 2010-2013, ver Gráfico 7, sumados a la mejoría en seguridad que ha venido teniendo el país, desde hace varios años, han creado un escenario propicio para que la producción de este metal precioso, haya presentado cifras positivas en los últimos tiempos[24].

Lo cual ha motivado a que grandes empresas mineras inviertan en este negocio y que los pequeños mineros vean una oportunidad dorada para salir adelante. Según la Agencia Nacional de Minería (ANM), el país comenzó a incrementar su producción de oro desde el 2007 al pasar de 15,48 toneladas (t) a 66,1 (t) en el 2012; no obstante para el 2013, la cifra llegó a las 55,74 t, lo que representa un descenso en la producción de 16% frente al año anterior.[24]

Para el año 2016, la expectativa del sector es llegar a las 80 toneladas y subir a las 93 (t) en el 2020[25]. En términos de explotación, de acuerdo con la información del Registro Minero Nacional (RMN), en Colombia existe un total de 1.058 títulos mineros de oro, distribuidos en 21 departamentos, siendo Antioquia el que posee el mayor número de ellos, con un total de 435, los cuales equivalen al 41% del total nacional. Le siguen Bolívar con 183 títulos, Caldas con 142, Tolima con 59, Santander con 50, Nariño con 41, y Chocó con 40 títulos.[24]

Según datos del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), es Antioquia el departamento que más produce oro, con un 42% de la producción nacional. El Gobierno nacional y los organismos de control intentan medir con mayor precisión el negocio del oro en el país, el rápido crecimiento de la producción durante estos años ha generado situaciones que impiden calcular el verdadero tamaño de este sector en Colombia y quiénes están detrás. De hecho, el Censo Minero más reciente, realizado por el Ministerio de Minas, detectó cerca de 14.000 unidades productivas mineras UPM, de las cuales el 63% no tiene título minero.[24]

A la actividad específica del oro se dedican empresas incluidas dentro del denominado Sector de la Minería a Gran Escala, mineros tradicionales o mineros de subsistencia,

[24] Portafolio. Economía. Extracción de oro, por buen camino, pero debe mejorar. Mayo 22-2014
[25] Datos proyectados con base en información de la Agencia Nacional de Minería

explotadores informales que han visto en esta labor una forma de subsistencia, así como aquellos grupos al margen de la ley que se dieron cuenta de la rentabilidad del negocio y han dado pie a la conocida minería ilegal.[24]

El estudio Minería realizado por la Contraloría General de la República, revela que Mineros S.A., que opera en Antioquia, es tal vez la única empresa minera de oro que puede ser catalogada como de gran minería. La compañía pasó de extraer 2,8 toneladas de oro en el 2009 a 3,7 en el 2012, las cuales representaron durante ese período el 6% de la producción nacional.

Otras firmas que tienen proyectos de exploración y en prefactibilidad minera para una futura explotación de oro en el país son Gran Colombia Gold, Continental Gold, Anglogold Ashanti Colombia y la minera canadiense Red Eagle recibiera la licencia ambiental que le permitirá comenzar a construir este año su mina mediana de oro de San Ramón en Santa Rosa de Osos (Antioquia), que dentro de unos ocho meses comenzará a producir 50 mil onzas cada año[26].

Lo cual significa que Colombia inaugurará en 2016 su primer proyecto minero nuevo, en cinco años y entrará a operar la primera empresa nueva en más de una década.

Gráfico 7. Precio del Oro, registro histórico de 1990-2014

Fuente: http://www.infomine.com/investment/metal-price/

[26] Consultado en http://lasillavacia.com/historia/el-reloj-de-la-locomotora-minera-anda-de-nuevo-50836

En Colombia, de acuerdo con el "Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales", la producción de oro en Colombia presenta un comportamiento muy inestable durante las últimas tres décadas. Este comportamiento puede no estar relacionado directamente con los niveles de producción, sino con las cifras reportadas, debido a la alta ilegalidad presente en la explotación de este mineral en el país.

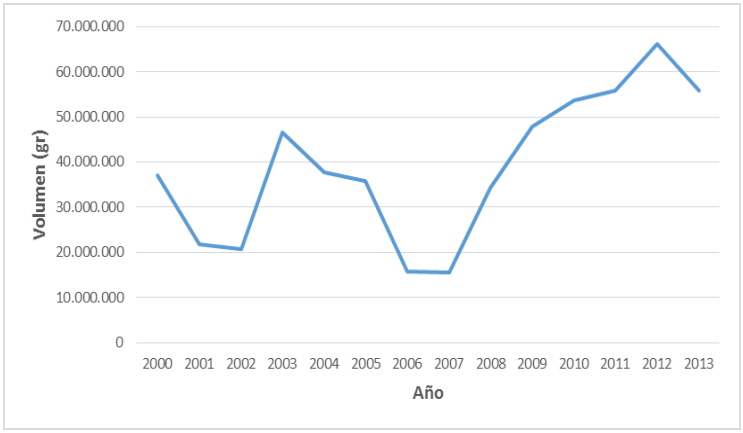
No obstante, los precios del oro muestran un pronunciado aumento durante la última década debido a su valor como activo refugio en la economía mundial, principalmente luego de la crisis financiera de 2008, donde los metales preciosos como la plata y el oro, se convirtieron en una inversión más segura ante la incertidumbre sobre el desempeño de la economía estadounidense, la volatilidad de las bolsas de valores y las fluctuaciones de las principales monedas.[27].

De acuerdo a los datos extraídos de SIMCO, se observa que pesa al comportamiento inestable que presenta en los últimos años, a partir del 2007, se ha aumentado la producción, exceptuando en 2013 paso de 66.18 toneladas a 55.74 toneladas, lo que representa un 15.7% menos que el año anterior.

Tabla 5. Histórico de producción de oro

Año	Volumen Gramos (gr)
2000	37.018.364
2001	21.812.571,60
2002	20.823.402,76
2003	46.514.584,23
2004	37.738.642,66
2005	35.786.248,12
2006	15.682.836,49
2007	15.481.547,10
2008	34.321.020,01
2009	47.837.774,64
2010	53.605.657,37
2011	55.907.832,32
2012	66.177.598,46
2013	55.744.998,36

Grafico



Fuente: Banco de la República, Ministerio de Minas y Energía, Minercol, Ingeominas (2004-2011), Servicio Geológico Colombiano (2012 en adelante). Nota: Los datos del 2013 actualizados a I trimestre.

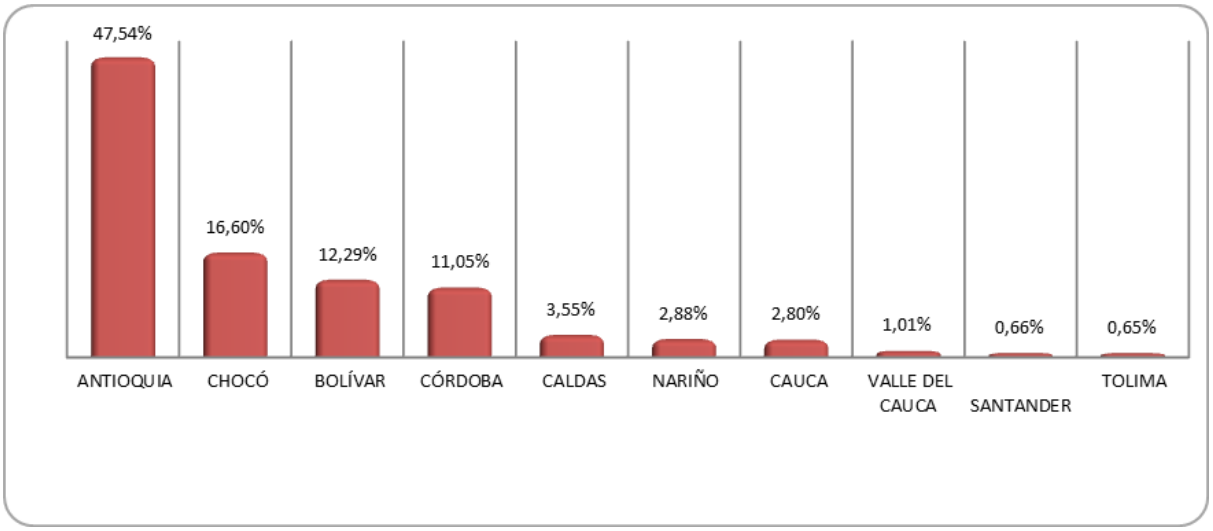
[27]Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. Centro de Investigación Económica y Social – FEDESARROLLO. Bogotá, mayo 2013, Pág. 11

4.2 PRINCIPALES DEPARTAMENTOS PRODUCTORES

Teniendo en cuenta la producción oficial de Oro en Colombia[28] entre los años 2000 y 2014, observamos que los 5 principales departamentos productos de oro son: Antioquia (50.9%), Choco (20.95%), Córdoba (9.72%), Bolívar (8.26%), Caldas (3.18%) y Cauca (2.8%), como se observa en el grafico siguiente.

Si tenemos en cuenta la distribución de la producción entre los municipios, Antioquia es el departamento con municipios con mayor producción de oro, seguido por Choco, Córdoba y Bolívar, como se observa en la tabla 6.

Gráfico 8. Producción de oro por departamento



Fuente: Banco de la República, Ministerio de Minas y Energía, Minercol, Ingeominas (2004-2011), Servicio Geológico Colombiano (2012 en adelante).

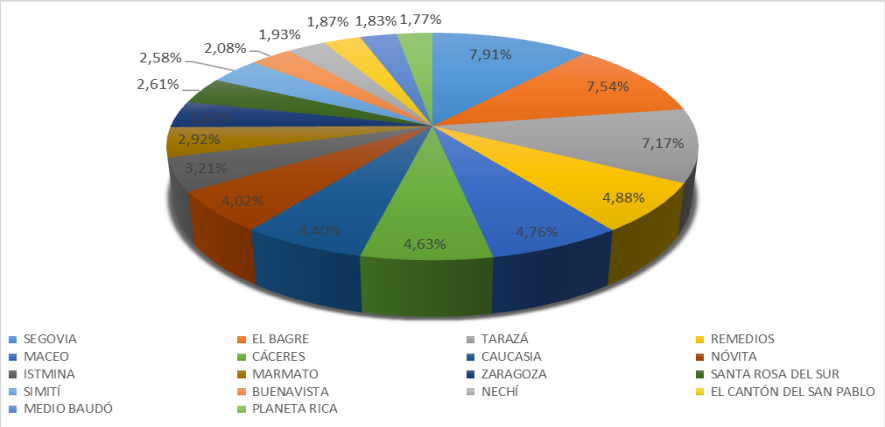
[28] Sistema de Información Minero Colombiano - SIMEC. Unidad de Planeación Minero Energético – UPME. http://www.simco.gov.co/?TabId=121

Tabla 6. Municipios con mayor producción de Oro.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PRODUCCION (Toneladas)	
Antioquia	Segovia	4,48	7,93%
	El Bagre	4,44	7,87%
	Tarazá	3,80	6,74%
	Remedios	2,88	5,11%
	Caucasia	2,58	4,57%
	Maceo	2,42	4,28%
	Cáceres	2,41	4,28%
	Zaragoza	1,53	2,71%
	Nechí	1,03	1,83%
	Vegachí	0,77	1,36%
	Cañasgordas	0,68	1,20%
Bolívar	Santa Rosa Del Sur	1,43	2,53%
	Simití	1,39	2,46%
	Montecristo	0,44	0,79%
Caldas	Marmato	1,61	2,85%
Cauca	Timbiquí	0,66	1,16%
Choco	Nóvita	2,11	3,74%
	Istmina	1,85	3,28%
	El Cantón Del San Pablo	1,01	1,80%
	Medio Baudó	0,93	1,65%
	Sipí	0,92	1,63%
	Condoto	0,88	1,57%
	Unión Panamericana	0,86	1,53%
	Quibdó	0,79	1,40%
	Atrato	0,53	0,95%
	Tadó	0,51	0,91%
	Cértegui	0,48	0,85%
Córdoba	Buenavista	1,06	1,87%
	Planeta Rica	0,90	1,59%
	Puerto Libertador	0,52	0,92%

Fuente: Minercol (2001-2003),Ingeominas (2004-2011), Servicio Geológico Colombiano (2012 en adelante).Nota: Los datos del 2014 actualizados a IV trimestre.

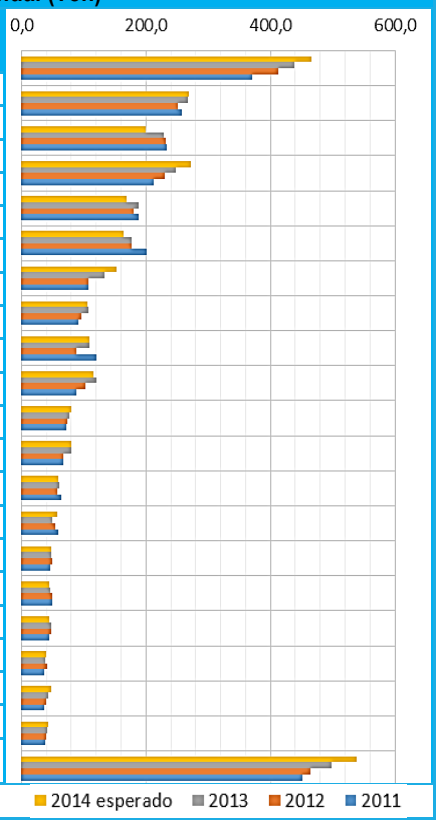
Gráfico 9. Municipios con mayor producción



De acuerdo a la información de la multinacional Thompson Reuters, proveedor global de información para empresas y profesionales de negocios que cotiza en la bolsa, la producción de Oro en el mundo durante los últimos años la viene liderando China, seguida de Australia, Estados Unidos y Rusia. Aunque en el último año Rusia pasó a ocupar el segundo lugar de la clasificación mundial según el volumen de extracción, como se observa en la tabla 6 donde encontramos a las 20 naciones con la producción de oro más relevante del 2010 al primer trimestre del 2014. Como vemos Colombia ocupa entre este ranking el puesto 20 a nivel mundial y el 6 en Latinoamérica.

Tabla 7. 20 principales países mineros de oro

País	Producción anual (Ton)				
	2011	2012	2013	A Junio 2014	2014 esperado
China	371,0	413,1	438,2	202,7	465,7
Australia	258,5	251,4	268,1	134,4	269,7
Estados Unidos	233,0	231,3	228,2	99,8	200,4
Rusia	211,9	230,4	248,8	104,1	272,0
Perú	187,6	180,4	187,7	79,8	169,3
Sur África	202,0	177,3	177,0	81,7	164,5
Canadá	107,7	108,0	133,3	75,5	153,1
Ghana	91,0	95,8	107,4	53,5	106,1
Indonesia	120,1	89,0	109,2	48,6	109,9
México	88,6	102,8	119,8	58,3	115,7
Uzbekistan	71,4	73,3	77,4	39,7	80,4
Brasil	67,3	67,3	80,1	38,4	80,5
Nueva Guinea	63,5	57,2	60,5	29,0	59,2
Argentina	59,1	54,6	50,1	26,5	57,6
Mali	45,8	50,3	48,2	24,5	48,3
Tanzania	49,6	49,1	46,6	21,8	44,3
Chile	44,5	48,6	48,6	21,3	43,9
Filipinas	37,1	41,0	38,7	19,4	39,4
Kazakistan	36,7	40,0	42,4	22,6	47,8
Colombia	37,5	39,1	41,2	21,4	43,1
Resto del mundo	451,7	464,3	498,0	255,7	538,0
Total	2835,6	2864,3	3049,5	1458,7	3108,9



Fuente: Survey 2012 Update 2, Survey 2013 Update 1, Survey 201 Update 2 y Survey 2014 Update 2. Thomson Reuters GFMS

En cuanto a las empresas productoras de oro, según Thomson Reuters GFMS, tenemos en primer lugar a la empresa Canadiense Barrick Gold con una producción en promedio 230.8 toneladas, seguida por Newmont Mining, AngloGold Ashantiy Gold Fields. En la siguiente tabla se identifican las 9 principales empresas productoras de Oro:

Tabla 8. Principales empresas productoras de Oro a nivel mundial

Empresa Productoras	Producción de Oro (Ton)			
	2011	2012	2013	2014 Esperado
Barrick Gold	238.8	230.8	222.9	194.4
Newmont Mining	161.3	154.8	157.5	151.2
Anglogold Ashanti	134.7	122.6	127.7	136.9
Gold Fields	102.0	95.9	58.1	62.6
Goldcorp	78.2	74.5	82.9	89.3
Kinross Gold	72.8	76.2	77.7	80.4
Navoi MMC	66.5	68.0	70.5	73.0
Newcrest Mininig	76.9	64.5	73.5	72.0
Polyus Gold International	46.6	52.2	51.3	50.8

Fuente: Survey 2012 Update 2, Survey 2013 Update 1, Survey 201 Update 2 y Survey 2014 Update 2. Thomson Reuters GFMS

4.3 PRINCIPALES CASOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES RELACIONADOS CON ORO

Así como lo dice la Contraloría en su estudio[29] en la actualidad la cantidad de oro extraída del subsuelo es baja comparada con los grandes productores mundiales, Colombia tiene en lista de espera varios proyectos para su entrada en funcionamiento si llegaran a cumplir con todos los requisitos exigidos por ley, que convertirían al país en un importante productor mundial de oro, con las consecuentes implicaciones sobre el medio ambiente.

En el documento “Diagnóstico Y Proyecciones De La Gestión Minero Ambiental Para Las Regiones Auríferas De Colombia” nos profundizan los diferentes aspectos ambientales de la explotación minera. Dicho estudio nos aclara que los impactos y riesgos sobre los diferentes componentes, varían teniendo en cuenta los procesos y actividades que conllevan la explotación aurífera, los cuales varían dependiendo de las condiciones biofísicas y socioeconómicas de las regiones, el sistema de explotación de aluvión o de filón, los métodos y tecnologías empleadas. Enfatizan que las zonas de extracción minera se caracterizan por ser regiones de bajo nivel educativo y cultura, que la población dedicada a la actividad aurífera, y la que habita las regiones circundantes tanto de las

[29] Minería en Colombia Fundamentos para superar el modelo extractivista. Contraloría General de la República. Mayo 2013. Pág. 98

explotaciones subterráneas como aluviales, se ve afectada en sus aspectos estructurales, sistema económico, y entorno territorial. [30]

De igual manera, nos indican que la mayor parte de la producción nacional de oro proviene de la pequeña y mediana minería, y en la mayoría de las estas explotaciones son de tipo artesanal o informal, de subsistencia o supervivencia, o de minería ilegal. Por lo que predomina la utilización de métodos anticuados y de bajo rendimiento; el recurso se desperdicia, su recuperación es muy baja (50%)[31]; genera problemas ambientales graves a nivel local y regional; con serios problemas sociales.

El beneficio y procesamiento del mineral: en esta fase se recuperan los minerales buscados mediante procesos físico-químicos que los separan de los elementos estériles o sin valor económico con los que se encuentran asociados. Para esto se realiza una trituración para fragmentar la roca mineralizada en trozos más pequeños y poder llevarla a la molienda, donde se separan los minerales de valor económico de material estéril. En esta actividad se liberan contaminantes en forma de relaves. Generalmente para la recuperación del oro y plata se realiza lixiviado con cianuro, lo que genera altos impactos en el ambiente y en la salud pública (ELAW, 2010).

Disposición de relaves: Los relaves son la parte del mineral no valioso que es desechado. Es una mezcla de líquidos y sólidos, minerales sin valor comercial y reactivos químicos (López, 2000), una vez se ha extraído el material valioso. Son una fuente de contaminación y quizás la que más estragos ha caudado a los riachuelos, quebradas, ríos, lagunas, lagos y mares; ya que ha sido costumbre arrojarlos directamente a ellos sin ningún tratamiento, ocasionando daños irreparables a la flora y a la fauna (López, 2000). Las disposiciones de relaves normalmente utilizadas como lagunas, canchas o tranques de relaves o la disposición de relaves secos, han tenido un resultado ambientalmente muy pobre, en las pocas ocasiones que este se ha realizado (ELAW, 2010).

El mercurio metálico se usa en minería aurífera para separar y extraer el oro de las rocas o minerales en las que se encuentra, este mercurio se adhiere al oro formando una amalgama que facilita su separación de las rocas y arenas. Posteriormente se quema la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. La minería de oro artesanal

[30] Diagnóstico Y Proyecciones De La Gestión Minero Ambiental Para Las Regiones Auríferas De Colombia. Ministerio del medio Ambiente. Bogotá, D.C. Febrero De 2002

[31] Estimado por el equipo de expertos.

y en pequeña escala es, es por sí sola, la mayor fuente de liberación intencional de mercurio en el mundo.

Los lugares con altas concentraciones comprobadas de mercurio (zonas mineras críticas), son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos, compartimiento atmosférico, flora y fauna y contribuyen a la contaminación por metilmercurio que es mucho más toxico que el mercurio elemental y las sales orgánicas de mercurio.

La contaminación alcanza los peces, la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías. El metilmercurio en los ecosistemas es originado principalmente a partir de la metilación del mercurio inorgánico por bacterias aerobias y anaerobias.

En general, todas las formas de mercurio que entran en los sistemas acuáticos pueden convertirse en metilmercurio, el cual puede ser directamente bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia. Alrededor del 90 % de todo el metilmercurio presente en los alimentos es absorbido a través del sistema digestivo, tanto en el hombre como en los animales. La manifestación clínica de la intoxicación se conoce como “enfermedad de Minamata[32]”, que causa daños neurológicos: ataxia, tremor, parestesias, parálisis cerebral, disminución de capacidad visual y auditiva, y alteraciones cardiovasculares, entre otros.

Sin embargo de manera general se pueden identificar los problemas ambientales más frecuentes relacionados con la extracción de Oro en Colombia, así[33]:

- La utilización del mercurio y del cianuro es indiscriminada y sin ningún control. Esto está ocasionando graves enfermedades a las comunidades y fauna de la región. Los residuos o colas de estos canalones que en muchos casos contienen importantes cantidades de oro y mercurio, van directamente a quebradas y ríos cercanos. Al realizar la amalgamación puede ser sumamente dañina para el medio ambiente por producir elevadas cantidades de harina de mercurio que permanecen en las colas El metal precioso se recupera en la fundición y refinación, mediante el calentamiento de la amalgama, produciendo emisiones atmosféricas de vapor de mercurio con

[32]Contaminación con mercurio por la actividad minera. Consultado en http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437
[33] Impacto de la minería de hecho en Colombia. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz- INDEPAZ. Bogotá, D.C., mayo de 2013

afectación en la salud del personal que realiza esta labor y de la comunidad que se encuentra cerca. El mercurio emitido se acumula, en forma de mercurio metálico y compuestos en los sedimentos de los ríos y los suelos donde por acción bacteriana y bajo ciertas condiciones puede convertirse en mercurio orgánico (metilmercurio o dimetilmercurio), sustancia altamente tóxica para el hombre por contaminación en agua, aire y suelo (fauna y flora).[34]

- Deterioro de corrientes hídricas superficiales: aumento de sedimentos, contaminación con grasas y aceites, lodos de perforación y aguas residuales, sobredemanda del recurso compitiendo con las necesidades de abastecimiento de las poblaciones asentadas en el área, ocupación de cauces, etc.

- Luego de la explotación, muchas veces quedan grandes perforaciones cerca de las fuentes de agua, en los cuales se meten los peces y se contaminan. Según las comunidades lo más grave del cambio de los cauces de los ríos es que se pierde la comunicación fluvial (única en la zona); con la erosión del suelo se está dañando la "farmacia biológica", plantas medicinales que solo nacen en lugares específicos.

- Afectación de acuíferos: nacimientos de agua

- Deforestación de extensas áreas de bosques, excavación desordenada y desviación del cauce natural de los ríos. El deterioro de los ecosistemas, la contaminación de las fuentes hidrográficas y deforestación puede generar eventuales desastres naturales por fenómenos climatológicos (temporada de lluvias).

- Contaminación de suelos

- Generación de residuos sólidos peligrosos: Los residuos relacionados con los lodos de perforación, así como las grasas y aceites usados para el mantenimiento de las máquinas de perforación y vehículos.

- Detrimento del suelo y la capa vegetal: La instalación de campamentos y plataformas de exploración requiere en algunos casos la remoción de la capa vegetal

- Interrupción de los flujos de corrientes subterráneas, contaminación con lodos de perforación, disminución de caudales.

[34] Producción Más Limpia En La Minería Del Oro En Colombia. Mercurio, Cianuro y Otras Sustancias. Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2007

- Derriban los saltos de agua, las peñas y lomas para poder realizar la actividad minera, ya que es necesario hacer llegar una retroexcavadora hasta lo profundo de la selva, esto causa que se pierda la velocidad del río, afectando la oxigenación, la calidad fisicoquímica, afectación y/o disminución de caudales, alteración de cauces (en algunos casos esta es definitiva pues se producen desviaciones del mismo)

- Afectación de la pesca en muchos afluentes.

- Desplazamiento de fauna silvestre (en algunos casos se llega a la desaparición de especies acuáticas o terrestres)

4.4 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL MERCURIO SEGÚN LA CADENA DEL MERCURIO.

En el ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ENFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO se abordó la situación del manejo del mercurio en lo referente a las importaciones a Colombia y la normatividad asociada a esta actividad, los que requieren de ajustes que permitan tener un claro dominio sobre las cantidades que están entrando al país. Para tal fin se recomienda, una revisión del nivel de ordenamiento que se tiene desde la perspectiva de la normatividad existente en Colombia para el manejo específico de este elemento.

La Ley 1658 del 15 de julio de 2013 "*Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de Mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones*", ordena acciones relacionadas con la gestión asociada a este elemento con el fin de "*proteger y salvaguardar la salud humana y preservar los recursos naturales renovables y el ambiente*" (art. 1), dentro de la cual ordenó: "*reglaméntese en todo el territorio nacional el uso, importación, producción, comercialización, manejo, transporte, almacenamiento, disposición final y liberación al ambiente del mercurio en las actividades industriales, cualquiera que ellas sean*."

En este sentido en su artículo 8, estableció que "*El Ministerio de Minas y Energía en coordinación con los ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Salud y Protección Social, Trabajo, Agricultura y Desarrollo Rural, Transporte y Comercio, Industria y Turismo, sectorialmente y en el marco de sus competencias, deberán suscribir un plan único nacional de mercurio y elaborarán sus reglamentos técnicos en el término máximo de un año, una vez finalizado el término de reglamentación del registro establecido en el artículo 4, para el desarrollo de las actividades relacionadas con cada una de las etapas del ciclo del mercurio (importación, producción, comercialización, uso, manejo,*

transporte, almacenamiento, disposición final, emisión, liberación, riesgos a la salud) como uso, importación, producción, comercialización, manejo, transporte, almacenamiento o disposición final".

En la actualidad el Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas (ANM, SGC y UPME) ,se encuentran elaborando el Plan Único Nacional de Mercurio para el Sector minero que permite aunar esfuerzos entre los diferentes sectores y actores involucrados en la problemática asociada al uso del mercurio en las actividades mineras, que permitan alinear las estrategias del Estado, con el fin de controlar y minimizar y, en lo posible, eliminar el elemento en los procesos productivos de alto impacto en el país.

Colombia, debe definir una política clara y especifica de la estructura de uso del mercurio de acuerdo con los sectores productivos demandante de este elemento y entrar a establecer, con base en normatividad de vigilancia y control, el sistema sancionatorio adecuado para el manejo y uso de este elemento, de forma tal que permita a las autoridades tomar medidas inmediatas ante la presencia de los casos de transporte, comercialización, almacenamiento o distribución de mercurio.

El Convenio de Minamata, establece medidas (artículo 7 y anexo C) para la extracción y tratamiento del oro en los que se utilice amalgama de mercurio para extraer oro en minería aurífera de subsistencia y en pequeña escala. Las Partes en cuyo territorio se realicen estos procesos adoptarán medidas para reducir y, cuando sea viable, eliminar el uso de mercurio y de compuestos de mercurio de dichas actividades y las emisiones y liberaciones de mercurio en el medio ambiente provenientes de ellas[35].

Los países inmersos en los compromisos de reducción deberán revisar la visión presentada por EE.UU. sobre el fomento del reciclaje del mercurio como una herramienta de apoyo al retiro progresivo de este metal de los flujos comerciales sin incluir nuevas fuentes primarias.

Las metas de reducción del uso de mercurio en Colombia deben superar la obviedad del consumo en la extracción aurífera para conocer la demanda real en otros sectores y verificar las emisiones asociadas a otras industrias, de lo contrario el cumplimiento del objetivo final, la protección de la salud humana, será parcial.

En Colombia será necesario proyectar la reducción en el consumo de los diferentes dispositivos que contienen mercurio pues de lo contrario las emisiones, particularmente

[35] Documento descargado en www.pnuma.org/.../informe_Minamata_LAC_ES_FINAL.pdf

en áreas urbanas, continuará incontrolada aún después de la entrada en vigencia de la Ley 1658 que prohíbe su uso en procesos industriales a partir del año 2023.

Teniendo en cuenta la situación del manejo y uso del mercurio en el país con respecto a los compromisos asumidos en el convenio Minamata y en concordancia con la Ley 1658 de 2013, la cual establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación del mercurio y los impactos económicos y ambientales producidos por la creciente explotación de oro, utilizando mercurio en Colombia, debemos entrar a establecer, con lineamientos concretos, acciones de tipo político, jurídico y logístico que permitan controlar el mercurio en Colombia. Para tal fin, se requiere de una política púbica clara y específica por parte del Estado para afinar los controles, que se deben implementar en la comercialización, distribución, almacenamiento, uso de este metal y disposición final, de tal forma que las autoridades encargadas de ejercer el control operativo o de campo tenga las instrumentos necesarios y efectivas para minimizar el ingreso y transporte aéreo, terrestre y acuático de mercurio en el país.

Las entidades del Estado en el marco de sus competencias en el control y manejo relacionado con esta sustancia peligrosa, deberán revisar del inventario de la normatividad existente, cuál es su nivel de aplicación actual, definiendo las oportunidades de mejora para su aplicabilidad y definiendo qué falta por definir el control de la comercialización, distribución, almacenamiento, registro de usuarios y uso de mercurio.

Se deben establecer programas de capacitación y entrenamiento en el uso del mercurio a nivel de distritos[36] y departamentos mineros en todo el país[37].

[36] Distrito Minero: definidos oficialmente en el Glosario Técnico Minero adoptado legalmente, continuan vigentes y así lo indican los cuatro últimos planes nacionales de desarrollo minero (2007 – 2010, 2010 -2014, 2010 – 2018 y visión 2019) Lo que se clausuró fue un programa liderado por el MME que llevaba el mismo nombre y que no se ha considerado en este documento

[37] A escala nacional se han desarrollado herramientas enfocadas a promover la producción más limpia y a incrementar los aportes de la actividad extractiva en las comunidades, entre estos se cuentan los centro ambientales mineros promovidos desde 1995 en el marco del programa de producción más limpia y construidos con convenios entre las corporaciones autónomas regionales del Valle del Cauca, Nariño, Cauca, Amazonía y Chocó, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ).

- CAM de Sur de Bolívar. En 1996 se abrieron los CAM de Montecristo, Santa Rosa del Sur y San Martín de Loba. Funcionaron hasta 2005 por falta de presupuesto.
- CAM de Ginebra, Valle del Cauca. Entró en operación en 1999 y está a cargo de la CAR del Valle del Cauca (CVC). Actividad limitada.
- CAM de Sotomayor. Ubicado en el municipio de Los Andes en Nariño entró en operación en 2001 y aun está activo a cargo de Corponariño

Se debe aprovechar la infraestructura de formación existente, brindadas por algunas universidades expertas en el tema y así como el SENA, para capacitar y formar técnicamente y científicamente a la población que se encuentra en las diferentes zonas mineras del país, con el fin de que adquieran el conocimiento.

Se recomienda a los Ministerios de Minas y Energía y al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante convenios con entes territoriales y autoridades ambientales regionales, la reactivación de los diferentes centros Minero-Ambiental en los principales distrito mineros del país con un decidido apoyo financiero y técnico, ya que los pequeños y medianos mineros auríferos, requieren asistencia técnica y análisis de sus minerales, así como la utilización de las mejores técnicas ambientales y metalúrgicas para el procesamiento de los minerales auroargentíferos.

En el País, los procesos mineros apoyados en el uso de mercurio como elemento de amalgamación de oro, están lo suficientemente diagnosticados desde el punto de vista ambiental y de salud; esto desde la perspectiva de los impactos que están generando en estas dos líneas estratégicas.

Los mecanismos para mejorar y minimizar estos aspectos se deben fundamentar en dar soporte técnico necesario a la minería formal artesanal para que optimice sus procesos, bajo el esquema de procesos “limpios” de extracción de oro. El soporte técnico debe estar acompañado de incentivos económicos, soportados por el sistema de regalías, que permitan al pequeño minero adquirir bajo las diferentes figuras financieras del país la tecnología para implementar los programas de “Producción Limpia”[38]

La situación actual de los cuerpos de aguas, principalmente en las zonas de depósito del material sólido encargado de retener el mercurio depositado como sedimento en éstos, debe monitorearse periódicamente para verificar su evolución en el tiempo, de tal forma que si se requiere dragar los sedimentos de los cuerpos de aguas afectados, se pueda establecer las condiciones de disposición final adecuada de los éstos.

- CAM de Fondas, Cauca. Comenzó operaciones en 2001 a cargo de la CAR del Cauca (CRC). No está activo.
- CAM de Puerto Limón, Putumayo. Comenzó operaciones en 2001 a cargo de Corpoamazonía. No está activo
- CAM de Istmina, Chocó. Nunca se concluyó su construcción. No está activo.

[38] Resolución 136 MAVDT 06-feb-2004. Reglamenta la solicitud de acreditación de las inversiones para control y mejoramiento del medio ambiente de acuerdo a lo previsto en el artículo 158-2 del Estatuto Tributario. Resolución 0978 MAVDT 04-jun-2007. Establece la forma y requisitos para presentar ante MAVDT solicitudes de exención de IVA por equipos de control y mejoramiento ambiental.

En lo concerniente a la contaminación atmosférica, los Planes de ordenamiento territorial, deben ser evaluados por las alcaldías de tal forma que las actividades mineras complementarias como lo son las que se desarrollan en las compraventas de oro, donde en algunos casos se lleva a cabo la "quema" del material amalgamado, queden ubicadas en zonas determinadas de acuerdo con la "Rosa de los Vientos"[39] de la región que permitan minimizar el impacto en las comunidades ubicadas en su área de influencia.

En las actividades de campo se observó mucha prevención del sector evaluado, minería aurífera de subsistencia, con respecto a las entidades del Estado, debido a que existe una desconfianza generalizada con respecto a las intenciones de fondo que se pueden perseguir cuando se realizan este tipo de estudios técnicos. Esta desconfianza debe ser minimizada con acciones de fondo soportadas en apoyo técnico al sector, enfocado a su mejoramiento productivo, que garantice la supervivencia de estos pequeños aportantes al desarrollo económico del país.

Los altos consumos y descargas de mercurio, como el caso de los distritos del Sur de Bolívar, Chocó, Nordeste y Bajo Cauca Antioqueño, dejan como premisa la extensa gama de investigaciones que se deben realizar para enfrentar este problema de salud pública.

Dada la dificultad de estimar en campo los usos, consumos o descargas unitarias de mercurio, se deberá realizar una investigación exhaustiva que permita tener un estimativo más preciso de los coeficientes que se ha estimado los usos y descargas de mercurio.

Un balance másico de usos y pérdidas de mercurio en los distintos distritos y una revisión del censo minero nacional del 2010 que podrían identificar las minas de oro que utilizan mercurio, ayudarían a tener un estimativo más cercano a la realidad

La creación de centros mineros capacitados con personal idóneo, cuyo fin sea sensibilizar, concientizar y enseñar, la aplicación de tecnologías limpias en la minería de subsistencia y pequeña escala, que busquen la erradicación paulatina de la utilización del mercurio, además de mitigar los impactos ambientales y sanitarios, especialmente en los distritos anotados.

[39] Rosa de los vientos: El viento es un elemento climatológico definido como "el aire en movimiento" y se describe por dos características: 1) la velocidad y 2) la dirección. Debido a esto es que se considera un vector con magnitud (dada por la velocidad) y dirección. Los meteorólogos crearon una gráfica llamada Rosa de los vientos que nos permite representar simultáneamente la relación que existe entre las características que componen el viento. Dirección de Investigación en Monitoreo Atmosférico y Caracterización Analítica de Contaminantes.

Es necesario implantar organismos de control que permitan disminuir el contrabando de mercurio ocurrente en los departamentos mineros; ya que en la mayoría de estos existe una baja presencia del estado.

Se recomienda a las entidades mineras en el marco de sus competencias que se promueva y se masifique la operación de concentración gravimétrica, con equipos como (mesas concentradoras, Jig, Espirales, concentradores centrífugos, etc.) y química (flotación espumante), esta concentración se puede realizar de varias maneras y en varias etapas; la gran mayoría utilizan la gravedad para separar las partículas pesadas, como el oro, de las partículas más ligeras. La concentración reduce la masa del material a procesar y elimina la necesidad de amalgamar la roca entera, por consiguiente, reduce la cantidad de mercurio necesaria para la amalgamación, hasta aproximadamente un gramo de mercurio por un gramo de oro recuperado (1 a 1). Además, si se recicla el mercurio, las pérdidas se disminuyen hasta en un 95%. Si la concentración se tecnifica, es posible eliminar el uso de mercurio por completo.

Con el fin de dar cumplimiento a los convenios internacionales firmados y a las reglamentaciones específicas, el camino natural es la eliminación del mercurio en el proceso extractivo del oro en la minería de subsistencia en el plazo de 5 años. Este objetivo implica una mejora sustancial al nivel de los conocimientos técnicos para la separación eficiente de los minerales, lo que depende mucho de la clase de mineral (aluvial, mena).

Así, una vez más, las campañas de educación y el apoyo técnico a las comunidades mineras de pequeña escala son esenciales para indicarles el grado de molienda adecuado a su caso. Igualmente, el acceso a condiciones de crédito o incentivos financieros podrán facilitar la implementación de métodos de separación y concentración gravimétrica, magnética o por centrifugación.

En los casos en que la tecnología de recuperación del oro apunte para la necesidad de otros tratamientos debe ponderarse la implementación de plantas gestionadas por cooperativas que permitan la operación a mayor escala. El recurso aportado a estos centros debe asegurar el cumplimento de todas las normativas ambientales vigentes en el País.

Los ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Minas y Energía, deben establecer políticas de desarrollo productivo minero, enfocado hacia el sector de la minería de subsistencia que les permita tener acceso a beneficios tributarios y estímulos económicos (Esto lo viene haciendo la oficina de negocios verdes del MADS) que le permitan estructurar mecanismos de mejoramiento de la productividad basada en producción limpia, libre de uso de mercurio en sus procedimientos de extracción aurífera

5. DEFINICIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

En cumplimiento del objetivo específico que da origen a este informe fueron seleccionados seis departamentos auríferos y tres carboneros, todos ellos de gran relevancia en la producción minera nacional y con impactos futuros expuestos en los escenarios climáticos contenidos en la III Comunicación nacional de cambio climático (IDEAM, 2015[40]).

La selección de las minas dentro de estos nueve departamentos se basó en el reporte gráfico de títulos vigentes (ANM, 2015[41]) arrojando así un listado preliminar unidades de producción legalmente constituidas de 552 contratos mineros para carbón y 341 para oro.

Adicionalmente, se ha establecido como lineamiento en la toma de decisión de selección de los sitios, la problemática ambiental asociada a la minería extractiva de cada una de las zonas, debido a que se debe entrar a definir el real impacto que está generando la minería en éstas y sobre todo en el recurso hídrico de cada región.

La importancia de tener en cuenta los aspectos relacionados con el recurso hídrico, para la selección de los sitios, radica en que se genera una competencia entre las fuentes hídricas utilizadas para las cabeceras municipales y su uso en los procesos extractivos y complementarios del sector minero; de acuerdo a este documento se observa una relación inversa [42]

La competencia por el recurso hídrico entre las comunidades y el sector minero, ha generado una serie de situaciones que han conllevado en algunos casos a enfrentamientos y vías de hechos entre las comunidades, el sector minero y las autoridades, debido a la percepción que las comunidades tienen con respecto a los proyectos de explotación minera y su grado de afectación en los recursos ambientales, especialmente el hídrico, por la acción directa o indirecta sobre las cuencas y micro cuencas de las regiones, asociada a los procesos mineros

En las últimas décadas aumentó de manera considerable la explotación del carbón en la zona de páramo, degradando el suelo y afectando la calidad y la cantidad de agua de las

[40] Op. Cit.
[41] Agencia Nacional de Minería –ANM. (2015) Títulos minero vigentes: etapa contractual de explotación en el territorio nacional. Reporte gráfico RG-0207-15 del 10 de febrero de 2015. Escala 1:2.000.000.
[42] Diagnóstico del agua en las Américas; 2012; Red Interamericana de Academias de Ciencias Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.

quebradas que abastecen los acueductos que nutren a las poblaciones, como por ejemplo de Tasco - Boyacá. Los impactos visibles de la minería de carbón, como el drenaje ácido y la remoción en masa de tierra, generó una importante movilización campesina para proteger el páramo, frente a la indiferencia de las autoridades locales y regionales como CORPOBOYACA (Corporación Autónoma Regional de Boyacá)[43].

De acuerdo a la información brindada por los representantes de la Asociación de Acueductos Comunitarios de Tasco, quienes han venido luchando en los últimos 12 años por la protección del recurso hídrico, se han desarrollado en el área de páramo aproximadamente 60 explotaciones de carbón.

El municipio de Tasco informaba que a 2011 existía, en toda la jurisdicción, 80 bocaminas con licencia ambiental y 53 sin licencia. De este total 21 bocaminas se ubicaban en área de páramo. Las explotaciones desarrolladas en el área son en su mayoría de tipo artesanal o semitecnificadas, sin previsión ni controles sobre los posibles impactos sobre el ambiente.

A pesar de que el Plan de Desarrollo del Municipio reconocía en el 2008 los impactos negativos de la minería, las autoridades fueron indiferentes al deterioro ambiental y continuaron otorgando licencias ambientales y permitiendo el desarrollo de la actividad. El Plan Identificaba entre sus problemáticas las explotaciones mineras en área de páramo, por estar afectando los yacimientos hídricos, contaminando las aguas de la quebrada de Guaza (tributario del Rio Chicamocha), carbonera y las aguas que van hacia el rio Cravo que desemboca en el Orinoco.

Las zonas de la quebrada Guaza (conformada por las microcuencas del Mortiño y Llano Grande) abastece los acueductos de Pedregal, Hormezaque, La Chapa, San Isidro y Chorro Blanco, que brindan el servicio hídrico para varias veredas tasqueñas. La quebrada el Cancer da origen al acueducto que abastece a la parte urbana de la comunidad y al acueducto Calle Arriba. En este sector existen 15 bocaminas que dañaron el recurso hídrico y generaron desestabilización del terreno.[44] Respecto a esta situación el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Tasco aprobado en el año 2002 recomendaba *“un proyecto de Estudio hidrogeológico para las zonas de serranía de Pirucho, Peña Negra y el Mortiño con el fin de determinar la incidencia de las explotaciones mineras en los acuíferos que se encuentran infrayaciendo y suprayaciendo la formación Guaduas porque precisamente es allí donde se encuentran localizados los*

[43] Esquema de ordenamiento territorial, municipio de Tasco, aprobado acto administrativo 2002, http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/T/Tasco - boyaca - eot – 2000/tasco-boyaca-eot-2000.asp.
[44] https://www.yumpu.com/es/document/view34278225/informe-paramo-en-peligro/19

nacimientos de agua que surten los acueductos del Pedregal, Canelas y el Municipio. Los nacimientos localizados en el área también abastecen los cauces de las quebradas Guaza y Llano Grande. La zona del Mortiño y demás minas que se encuentran en las riberas de éstas dos quebradas deben ser estudiadas desde el punto de vista hidrogeológico y ambiental para proteger estas dos microcuencas muy importantes para el desarrollo y calidad de vida de los habitantes de Tasco"[45].

Entre los impactos ambientales generados por la minería de carbón en la jurisdicción de Tasco, se identifican:

- Contaminación de fuentes de agua por vertimiento de aguas de minas. Estas aguas ácidas son consecuencia del proceso de trituración y lavado del carbón, que liberan metales y químicos altamente tóxicos, contaminando no solo los cursos naturales de agua, sino también el suelo y la vegetación. Además, cuando las minas son abandonadas, el agua de lluvia reacciona con la roca expuesta causando la oxidación de minerales de sulfuro de metal. Esta reacción libera hierro, aluminio, cadmio y cobre en el sistema de aguas circundantes.
- Alteración de caudales y cursos de agua;
- degradación del suelo y erosión,
- deterioro paisajístico,
- perdida de coberturas vegetales y biodiversidad,
- desencadenamiento y activación de procesos de inestabilidad y
- deslizamientos del suelo.

Después de una intensa lucha por la protección de su ambiente, la comunidad dio visibilidad a los impactos que genera la minería de carbón y logró mediante acciones populares contra CORPOBOYACÁ[46], el Municipio y los empresarios mineros, las resoluciones legales para la suspensión de muchos de los emprendimientos de carbón en el páramo.

Sin embargo, a pesar de contar con las órdenes judiciales, la comunidad tuvo que recurrir ante otros organismos como: el Servicio Geologico Colombiano- SGC, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, la

[45] Esquema de ordenamiento territorial, municipio de Tasco, aprobado acto administrativo 2002, http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/T/Tasco - boyaca - eot – 2000/tasco-boyaca-eot-2000.asp.

[46] http://business-humanrights.org/es/colombia-ong-alerta-sobre-protesta-de-comunidades-locales-de-boyac%C3%A1-por-riesgos-de-licencia-para-miner%C3%ADa-de-carb%C3%B3n-a-hunza-coal-y-votorantim#c124656

Procuraduría General de la Nacional y la Contraloría General de la República, para que controlen el territorio y hagan cumplir las resoluciones judiciales[47].

Por otra parte, Drummond y Cerrejón son los dos proyectos carboníferos más importantes de Colombia y han transformado profundamente los entornos ambientales e institucionales de los lugares en los que operan. Respecto a las consecuencias de la explotación, hay opiniones encontradas y en fuerte contradicción, que van desde las graves consecuencias medioambientales, de salud, y la relación con el conflicto en la región hasta la afirmación de los factores positivos que implica la inversión en la zona. Así, en el caso de Drummond el inicio de la minería en este lugar contribuyó a la rápida estabilización de los indicadores económicos y a la generación de empleo en el Cesar, luego de la caída sufrida por la industria algodonera. (Congreso minero, Corferias, julio de 2010). De hecho, Drummond se consolidó como la principal fuente de ingresos para las autoridades locales mediante el pago de regalías e impuestos (Drummond Ltda, 2004: 79). Su presencia ha generado montos antes no vistos de dinero para el departamento, pero paralelamente, las mejoras sociales han sido focalizadas, lo que aumenta la disparidad en los indicadores sociales en la región (Bonet, 2007: 9). En el Cerrejón ocurre una situación similar. Entre 1985 y 2005 la ETN generó divisas superiores a los 10.955 millones de dólares, pagando al Estado: 639 millones de dólares en regalías, 9 millones de dólares en impuestos y 155 millones de dólares en salarios directos. (Cerrejón, 2006: 73). No obstante, la pobreza en la región en términos de necesidades básicas insatisfechas, NBI, fue del 64.08% de la población, que no tiene acceso a recursos básicos como agua potable, alimentación, vivienda y estudio[48] [49].
La afectación a los recursos hídricos es evidente, siendo emblemático el caso del río Ranchería, el más importante, que atraviesa el departamento de La Guajira de oriente a occidente y al que se atribuye que el sur tenga los suelos más fértiles y con mayor vocación para el desarrollo de actividades agrícolas, además de constituir una barrera natural que impide la expansión del desierto de la parte alta de La Guajira a esa zona. En general, el agua del Ranchería era utilizada para el consumo doméstico y para el desarrollo de actividades como el lavado de ropa y la recreación.

Al igual que en el Cesar, el río era una importante fuente de proteína de las comunidades de la zona, en la medida en que allí pescaban sardinata, dorado, bocachico, guabino, ventón, sábalo, besote, barbul, róbalo, ronquito, lambe piedras, mojarra, moñona y negra. El río y otros cuerpos de agua que se conformaban en época de invierno constituían sitios

[47] Greenpeace Colombia. 2013. Paramos en peligro: el caso de la minería de Carbón en Pisba. Diciembre 2013
[48] http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/40910/Documento_completo.pdf?sequence=1
[49] IV Congreso de relaciones Internacionales. 2012. Recursos mineros, empresas transnacionales y conflicto en Colombia: carbón y responsabilidad social. Rosalvina Otálora Cortés. Universidad de la Plata. La Plata Argentina

de importancia para la alimentación de los animales, y en sus orillas crecían árboles de mango, mamón o tamarindo, además de plantas que eran fundamentales para la alimentación y para desarrollar los conocimientos ancestrales asociados a la salud. Plantas con las que se preparaban bruscos, unas bebidas con las cuales se trataban diversas enfermedades[50].

En esta zona de La Guajira, desde finales de la década de los setenta empezó un proceso de compra de tierras que se ubicaban a orillas del río, en este caso por parte de Intercor-Carbocol. "*Había presión porque (…) el agua que nosotros consumíamos era del Ranchería y ya nosotros no podíamos ir al Ranchería, entonces nosotros ya no teníamos ni agua para tomar, porque la compañía impedía el acceso a ciertas áreas de la región",* recuerda uno de los miembros de la comunidad de Roche. Esto limitó el acceso de las comunidades a esta importante fuente de agua, a lo que se sumó que desde la llegada de la minería a la zona, al Ranchería y a algunos arroyos fueron a parar las aguas residuales de los campamentos de la empresa, instalados desde finales de los años setenta[51].

Por ello, en la cuenca alta aún es posible ver un río cristalino, que a medida que se va acercando a la zona media y baja está contaminado, y donde difícilmente se encuentran los peces que solían pescarse y las plantas o árboles crecían al borde. Su uso como vertedero de aguas contaminadas transformó sus usos comunitarios. Los pobladores recuerdan el río además como un importante punto de encuentro y de diversión para las comunidades de la zona, al que asistían las mujeres para lavar la ropa, los jóvenes para nadar, y en donde se preparaban los alimentos para las festividades y llegaban familias y comunidades enteras para celebrar. Prácticas que dejaron de realizarse en la medida en que a los habitantes se les impidió el libre acceso a estas zonas[52].

5.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA

Como se ha indicado anteriormente, la selección inicial de departamentos tuvo como criterio principal la producción histórica; sin embargo, dada la necesidad de planificación de muestreo en campo es necesario elevar la escala de análisis a municipios. La serie

[50] http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/11067.pdf
[51] http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/11067.pdf
[52] La minería de carbón a gran escala en Colombia: impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales. Pág. 55.5

histórica de producción de municipios auríferos tiene una extensión de 14 años (2001 – 2014); sin embargo, la de carbón es más corta pues sólo está disponible para nueve años (2006 – 2014).

5.1.1 Selección de departamentos auríferos

De acuerdo con las series históricas de producción nacional de minerales se encontró que el total acumulado de producción aurífera en los 14 años de análisis es de 554.2 t y que en promedio el 91% de los aportes anuales corresponden a ocho departamentos así: 1) Antioquia con un aporte promedio anual de 54.7 %; 2) Chocó con 24.5 %; 3) Bolívar con 8.9 %; 4) Cauca con 3.8 %; 5) Caldas con 3.6 %; 6) Nariño con 2.7 %, 7) Valle del Cauca con 0.9 % y 8) Tolima con 0.7 %.

Durante 2014, cuando se reportó una producción nacional de 57.1 t de oro, los aportes de estos ocho departamentos fueron del 96 % y de estos el 86 % fue reportado para los departamentos de Antioquia (28.1 t; 49.3 %), Chocó (11.3 t; 19.9 %), Cauca (4.3 t; 7.6 %), Bolívar (2.8 t; 4.8 %), Caldas (2.1 t; 3.7 %) y Tolima (0.3 t; 0.4 %).

La caída en la producción chocoana en 2014 de 3.8 t (-25.3 %) con respecto a 2013 hacía pensar en una reducción en la producción nacional anual; sin embargo, un aumento de una tonelada en Antioquia, de 0.9 t aportadas en conjunto por Bolívar, Caldas y Valle del Cauca, sumadas a un inusitado incremento de 3.8 t (75.7 %) de Nariño llevaron la producción hasta 57 t, la segunda mayor en los 14 años de análisis. Una revisión detallada para el caso de Nariño revela que los principales aumentos ocurrieron en los municipios de la costa Pacífica en los municipios de El Charco (4.247 %), Barbacoas (974 %), Santa Bárbara (392 %) y Tumaco (155 %).

Tabla 9. Histórico de producción aurífera nacional (toneladas)

DPTO.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Acum.
Antioquia	6,43	7,57	24,55	22,88	22,43	10,73	11,43	26,01	28,05	18,91	19,16	27,45	27,09	28,09	280,8
Chocó	0,80	0,59	1,09	0,69	1,79	1,01	1,27	2,81	10,36	22,83	27,28	21,18	14,72	11,20	117,6
Bolívar	2,18	1,87	6,87	2,95	4,13	0,99	0,42	2,39	3,37	5,76	5,42	4,12	2,24	2,75	45,5
Cauca	0,45	0,39	0,45	0,36	0,35	0,28	0,35	0,62	2,32	1,04	1,12	3,12	4,44	4,31	19,6
Caldas	0,64	0,77	1,06	1,32	1,99	1,41	1,12	1,08	1,18	1,14	1,27	1,64	1,64	2,01	18,3
Nariño	0,25	0,16	0,67	0,28	0,20	0,12	0,18	0,22	0,42	0,31	0,23	2,83	2,95	5,19	14,0
Valle	0,35	0,19	0,25	0,10	0,11	0,06	0,05	0,20	0,57	0,52	0,20	0,69	0,66	0,72	4,7
Tolima	0,03	0,14	0,41	0,30	0,24	0,24	0,26	0,22	0,28	0,48	0,28	0,33	0,28	0,25	3,7
Total parcial	11,14	11,68	35,36	28,89	31,25	14,83	15,07	33,55	46,54	51,00	54,96	61,36	54,01	54,52	504,2
Total nacional	18,22	17,37	43,96	37,74	35,78	15,68	15,48	34,32	47,83	53,60	55,91	66,18	55,74	57,01	554,8

Fuente: Minercol (2001 – 2003), SGC (2004 – 2010) y ANM (2011 – 2014)

De manera consistente con el estudio sobre la cadena del mercurio (MME y UPME, 2014[53]) y formando parte de los principales productores auríferos se han propuesto como objeto de análisis los departamentos de Antioquia, Bolívar, Caldas, Cauca, Chocó y Tolima.

Para determinar la evolución temporal del mercurio en el proceso de beneficio auroargentifero, mediante el análisis de los isotopos en núcleos sedimentarios se establecieron tres zonas afectadas por minería, aurífera para este estudio; estas fueron definidas por la situación actual en cuanto a uso de mercurio en sus procesos de extractivos.

El área de estudio será una de las zonas calientes establecidas en el proyecto del Estudio de la cadena del mercurio en Colombia, donde se hayan encontrado los mayores niveles del contaminante (Departamentos de Antioquia, Bolívar, Cauca, Nariño, Risaralda, Córdoba o Choco); incluidos en el proyecto, debido al manejo que se le ha dado al mercurio, acorde con los resultados en las zonas evaluadas en el Estudio Cadena de Mercurio , contrato GGC 191 – 2014 del Ministerio de Minas y la Unidad de Planeación Minero Energética, se ha establecido que las zonas a evaluar en este estudio son: Bolívar, Chocó y Cauca.

Las áreas de estudio son los sistemas lenticos, receptores de los cuerpos de aguas que atraviesan los sitios de minas expuestos a uso de mercurio en sus operaciones extractivas. Estos sistemas son los “sumideros” de los químicos utilizados en los procesos, por lo cual se aprovechara esta característica en la toma de muestras para los estudios isotópicos

5.1.2 Selección de departamentos carboneros

El registro histórico oficial indica que la producción acumulada nacional en los últimos 14 años alcanzó las 952.7 millones de toneladas (Mt), teniendo como principales aportes los provenientes de Cesar (47.3 Mt; 47.9 %), La Guajira (405.8 Mt; 42.6 %), Boyacá (28.8 Mt; 3.0 %), Cundinamarca (25.1 Mt; 2.6 %) y Norte de Santander (24.1 Mt; 2.5 %), que

[53] Op. Cit.

en conjunto suman el 98.7 % del total nacional; mientras que el 1.3 % restante se distribuye entre Antioquia, Córdoba, Santander, Valle del Cauca, Cauca y Casanare.

La presencia de un mayor número de minas carboneras en el departamento del Cesar, sumada al hecho de ser el mayor productor histórico permite seleccionar a este departamento como uno de los de mayor interés para realizar muestreos.

Por su parte, los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, que ocupan el tercer y cuarto lugar respectivamente en el escalafón nacional, representan en conjunto el 5.6 % acumulado nacional y el 60 % del acumulado para el carbón de la zona andina. En razón a esta importante participación se seleccionaron como de gran interés para el muestreo. De acuerdo con lo anterior, fueron seleccionados los departamentos de Cesar, Boyacá y Cundinamarca.

Tabla 10. Histórico de producción carbonera nacional (miles de toneladas)

DPTO.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Acum.
Cesar	15385,0	16386,0	21151,8	25028,4	27709,5	31118,3	33186,6	33676,2	34050,1	36015,5	43687,6	46678,9	45068,8	47306,2	456448,9
La Guajira	23676,3	18076,9	22584,3	24546,8	27180,0	29073,5	30069,5	31939,9	31430,9	31098,2	33355,6	35092,7	33296,3	34357,8	405778,7
Boyacá	1765,0	1549,0	1900,0	1204,2	1280,1	1756,4	2275,2	2230,9	2276,2	2675,9	2754,0	2625,2	2723,3	1772,1	28787,7
Cundinamarca	1028,8	1440,0	1500,0	916,5	1176,3	1074,0	1784,7	2405,6	1941,6	2056,1	3063,2	1875,3	2408,4	2387,7	25058,3
Norte de Sant.	929,1	905,6	1600,0	1283,3	1403,6	1931,3	1691,3	2085,2	1938,4	2117,2	1901,9	2396,4	1686,6	2198,0	24067,8
Antioquia	648,0	674,0	780,0	351,8	488,2	427,6	230,1	403,9	655,8	149,4	334,0	155,3	108,7	264,7	5671,5
Córdoba	141,0	119,0	204,0	351,0	183,3	512,1	481,0	493,2	392,3	100,4	311,8	224,2	16,4	136,8	3666,5
Santander	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	157,3	116,3	178,1	116,5	135,9	202,0	92,1	139,4	102,1	1240,2
Valle del Cauca	242,3	272,0	269,0	179,3	210,1	112,6	49,6	79,0	0,0	0,0	108,8	32,1	6,5	25,3	1586,7
Cauca	21,8	19,6	24,8	26,8	44,0	28,8	17,9	9,9	4,9	1,0	83,8	26,3	0,8	24,3	334,8
Casanare	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	0,5	0,5	0,7	40,8	3,0	46,2
Total nacional	43837,3	39442,1	50013,9	53888,5	59675,1	66191,9	69902,2	73502,1	72807,4	74350,1	85803,2	89199,4	85496,1	88578,0	952687,2

Fuente: Minercol (2001 – 2003), SGC (2004 – 2010) y ANM (2011 – 2014)

5.2 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE INTERÉS

De los 11.595 títulos mineros vigentes, 2755 (23.8 %) cuentan con oro entre los minerales concedidos y 1999 (17.2 %) con carbón. De estos títulos, sólo 408 (14.8 %) están en etapa de explotación para oro y 697 (34.9 %) en etapa de explotación para carbón.

Una vez seleccionados los seis departamentos auríferos, se procedió a la elección de los municipios con mayor relevancia para la investigación así:

5.2.1 Selección de municipios auríferos

Los departamentos seleccionados fueron divididos según las regiones o provincias utilizadas por sus administraciones, luego se contabilizó la producción municipal

agregada en cada una de ellas para el acumulado entre 2001 y 2014 y para el año 2014, como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Histórico de producción aurífera en los departamentos seleccionados (kilogramos)

DPTO / REGIÓN	PRODUCCIÓN (2014)		ACUMULADO (2001 - 2014)		DPTO / REGIÓN	PRODUCCIÓN (2014)		ACUMULADO (2001 - 2014)	
	kg	%	kg	%		kg	%	kg	%
ANTIOQUIA					**TOLIMA**				
Bajo Cauca	14.327,0	0,3	147.559,4	26,60%	Nevados	241,1	0,0	2.148,7	0,39%
Nordeste	12.431,2	0,2	81.936,3	14,77%	Sur	6,8	0,0	1.282,8	0,23%
Magdalena Medio	109,7	0,0	24.904,4	4,49%	Ibagué	0,0	0,0	54,1	0,01%
Occidente	1.027,3	0,0	10.494,3	1,89%	Norte	0,0	0,0	53,7	0,01%
Norte	110,4	0,0	3.933,3	0,71%					
Suroeste	12,4	0,0	1.600,6	0,29%	**BOLÍVAR**				
Valle de Aburrá	42,5	0,0	744,3	0,13%	MMB	2.243,2	0,0	34.473,4	6,21%
Oriente	18,7	0,0	370,7	0,07%	Mojana Bol.	386,7	0,0	8.105,9	1,46%
Urabá	11,9	0,0	98,1	0,02%	San Martín	116,2	0,0	1.291,5	0,23%
CHOCÓ					**CAUCA**				
San Juan	5.431,7	0,1	87.245,4	15,72%	Occidente	2.759,8	0,0	8.626,1	1,55%
Litoral Pacífico	0,0	0,0	13.181,8	2,38%	Norte	1.347,1	0,0	8.052,4	1,45%
Alto Atrato	2.724,0	0,0	11.263,2	2,03%	Centro	52,6	0,0	1.147,9	0,21%
Medio Atrato	2.941,0	0,1	9.634,1	1,74%	Sur	154,3	0,0	589,6	0,11%
Bajo Atrato	220,9	0,0	302,7	0,05%	Oriente	0,6	0,0	534,7	0,10%
CALDAS									
Caldas occidental	1.364,1	0,0	15.841,2	2,86%					
Caldas centro	353,5	0,0	1.334,4	0,24%					

Fuente: Minercol (2001 – 2003), SGC (2004 – 2010) y ANM (2011 – 2014)

Dentro de los seis departamentos seleccionados está incluido el 75.7 % de los títulos mineros en etapa de explotación que cuentan con oro entre los minerales concesionados.

Antioquia. Este departamento cuenta con el 36.8 % (150) títulos mineros auríferos en etapa de explotación. Como era de esperarse las dos regiones principales son Bajo Cauca y Nordeste que, en conjunto, concentraron el 46.9 % de la producción nacional en 2014 y representan el 41.4 % del acumulado en los últimos 14 años[54].

[54] Minercol (2001 – 2003), SGC (2004 – 2010) y ANM (2011 – 2014)

En estas regiones están conformadas por los siguientes municipios auríferos: 1) Bajo Cauca: El Bagre (40.1 t; 26.3 % del acumulado regional), Tarazá (38 t; 24.9 %), Caucasia (25.8 t; 16.9 %), Cáceres (24.1 t; 15.8 %), Zaragoza (14.2 t; 9.3 %) y Nechí (10.3 t; 6.8 %) y; 2) Nordeste: Segovia (42.7 t; 50.5 %), Remedios (26.7 t; 31.6 %), Vegachí (7.7 t; 9.0 %), Anorí (3 t; 3.5 %), Amalfi (2.7 t; 3.2 %), San Roque (1.1 t; 1.3 %), Yali (0.3 t; 0.4 %), Santo Domingo (0.3 t; 0.3 %), Yolombó (0.1 t; 0.1 %) y Cisneros (0.1 t; 0.1 %) [53].

A partir de lo anterior, los municipios seleccionados se decantan rápidamente los municipios de:

- Segovia,
- El Bagre,
- Tarazá,
- Remedios,
- Amalfi
- Nechi y
- Cáceres.

El uso de mercurio en estos municipios de amplio conocimiento, razón por la cual también fueron incluidos en el estudio de la cadena del mercurio (MME y UPME, 2014).

De acuerdo a lo anterior, los títulos preseleccionados y su correspondiente cuenca a estudiar en esta zona son los siguientes:

Tabla 12. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Antioquia

MUNICIPIO	Distritos	Principal	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Zaragoza	Bajo Cauca	Metales preciosos	G6180005	G6180005	Explotación	Río Nechi
Zaragoza	Bajo Cauca	Metales preciosos	G6184005	G6184005	Explotación	Río Nechi
Segovia	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H6023005	HDVM-05	Explotación	Río Nechi
Segovia	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H6046005	HEQJ-02	Explotación	Río Nechi
Remedios	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H6048005	HFQL-07	Explotación	Medio Magdalena
Zaragoza	Bajo Cauca	Metales preciosos	H5766005	HCIJ-18	Explotación	Río Nechi
Remedios	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H5895005	HDIF-01	Explotación	Medio Magdalena
Amalfi	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H5913005	HFCD-03	Explotación	Río Nechi
Remedios	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H5952005	HEPO-06	Explotación	Río Nechi
Remedios	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H5953005	HFBP-03	Explotación	Río Nechi
Segovia	Nordeste Ant.	Metales preciosos	H5990005	HEPP-01	Explotación	Río Nechi
NechÍ	Bajo Cauca	Metales preciosos	L5707005	HEUC-08	Explotación	Río Nechi

Cáceres	Bajo Cauca	Metales preciosos	T1403005	GEFC-03	Explotación	Río Nechi
Cáceres	Bajo Cauca	Metales preciosos	P7532011	FHFP-03	Explotación	Río Nechi
Amalfi	Nordeste Ant.	Metales preciosos	T1967005	GEWN-08	Explotación	Río Nechi
Tarazá	Bajo Cauca	Metales preciosos	T4132005	GHUL-03	Explotación	Medio Cauca
El Bagre	Bajo Cauca	Metales preciosos	HHNK-02	HHNK-02	Explotación	Río Nechi
Nechí	Bajo Cauca	Metales preciosos	R89011	EDKA-22	Explotación	Río Nechi

La cuenca del rio Nechí tiene una extensión de 14613 km^2, cuenta con un caudal (año promedio) de 826 m^3/s y una oferta anual (año promedio) de 26065 millones de metros cúbicos, el rio Nechí es uno de ríos en Antioquia con mayor aporte la parte baja de la cuenca del rio cauca, en la zona hidrográfica correspondiente a el rio Nechí, se reconocen 26 cabeceras municipales. En el área hidrográfica correspondiente a la cuenca del Nechí se cuenta con diversos cuerpos de agua entre estos cuenta con 14 ciénagas a las cuales corresponde un área de 944,9 ha, 1 embalse con un área de 22,8 ha y 8 lagunas con un área de 2996,2 ha. Con respecto a la calidad del cuerpo de agua según el estudio nacional del agua se encontró que la subzona hidrográfica con con mayor presión dentro de la zona hidrográfica del Rio Nechí corresponde al rio Porce.

la cuenca hidrológica del Medio Magdalena (Instituto de Hidrología, Meteorología, Estudios Ambientales IDEAM, 2002) referente a la unidad hidrogeológica del valle inferior del Magdalena (IGAC, Instituto Alexander Von Humbolt, 2008), formada por el río Magdalena; los Brazo Guayabal, Rosario y Papayal; las Ciénagas del Rosario, Chimí, San Vicente, Escobilla, El Corozo, Manuel y Papayal; las Lagunas Matatigre y Sampuna; las Quebradas Majagualito, Norosí, Mejía, Azulita, La Danta y Platanal y los Caños El Violo, Tortugas, Tapao, Solera, Los Caimanes y El Unazo. Todo el territorio exhibe ambientes sedimentarios y vulcano clástico con buenas posibilidades hidrogeológicas (Instituto Meteorología, Estudios Ambientales IDEAM, 2002).

El Río Cauca es uno de los principales ríos del país. Presenta una longitud de 1350 Km y una cuenca hidrográfica aproximada de 63300 Km^2. Nace al sur del país, en el Páramo de Sotará en el Macizo Colombiano, departamento del Cauca, y desemboca en el Brazo de Loba en el Río Magdalena, en el departamento de Bolívar, al Norte del país. Recorre los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar. En su cuenca se encuentran asentados cerca de 183 municipios de estos departamentos[55].

[55] Caracterización de Ríos Tributarios del Río Cauca. Universidad del Valle. Recuperado de http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf1/volumen8/3-caracterizacionrcytv8f1.pdf

En la cuenca del Río Cauca se pueden diferenciar cuatro zonas: el Alto Cauca, el valle del Río Cauca, el Cauca Medio o Cañón del Cauca, y el Bajo Cauca. El cauca medio en específico, va desde la Virginia hasta la población de Puerto Valdivia (90 msnm) en el departamento de Antioquia, tramo con un largo descenso de 400 Km a través de cañones estrechos y profundos, con un área parcial de 19750 km^2 [56].

Este sector, se caracteriza por la escasez de lagunas, ciénaga y embalses, localizándose las lagunas de Otún en el parque natural de los Nevados, en el departamento de Risaralda y la ciénaga El Cedral en Buga, departamento del Valle. Sus afluentes más importantes son los ríos: Otún, chinchiná, Arma, San Juan, San Andrés e Ituango[57].

Chocó. La cuenca del San Juan que en 2014 aportó el 9.5 % de la producción nacional y representa el 15.7 % del acumulado para el lapso analizado. Esta región la conforman los municipios de: Nóvita (21.1 t; 23.4 %), Istmina (18.5 t; 20.5 %), Cantón de San Pablo (10.1 t; 11.2 %), Sipí (9.2 t; 10.2 %), Condoto (8.8 t; 9.8 %), Unión Panamericana (8.6 t; 9.6 %), Tadó (5.1 t; 5.7 %), Certegui (4.8 t; 5.3 %), Río Iró (2.7 t; 2.9 %), Medio San Juan (1.1 t; 1.2 %) y San José del Palmar (0.1 t; 0.1 %).
Fueron elegidos los municipios de Cantón de San Pablo y Condoto.

Por lo anterior se preseleccionaron los siguientes títulos mineros:

Tabla 13. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Choco

MUNICIPIO	DISTRITO	PRODUCTOS	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Condoto	Cuenca San Juan	Metales preciosos	FKJ-083	FKJ-083	Explotación	Río San Juan
Tadó	Cuenca San Juan	Metales preciosos	15012	GAVA-03	Explotación	Río San Juan

La cuenca hidrográfica del río San Juan se extiende por 180 Km con dirección SW-NE al occidente de la Cordillera Occidental con un ancho de unos 80 Km.

[56] Caracterización de Ríos Tributarios del Río Cauca. Universidad del Valle. Recuperado de http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf1/volumen8/3-caracterizacionrcytv8f1.pdf
[57] MARTINEZ DIAZ, Daniel F. Identificación de modelos estadísticos para la Regionalización de caudales máximos de la cuenca Magdalena-Cauca. Bogotá, D. C., 2005, 138 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental y Sanitario). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

El río San Juan nace en el cerro Caramanta, cordillera occidental sobre una cota de 3.900 m.s.n.m. en las coordenadas 05°25' de latitud Norte y 75°57' de longitud Oeste en el departamento de Risaralda, corre por el departamento del Choco, y desemboca en el océano Pacífico por medio de un gran delta de 300 km2, conformado por cinco bocas denominadas: Togoromá, Charambirá, Cacaotal, Chavica y San Juan, y situado a unos 60 km al noroeste del puerto de Buenaventura. Debido a los numerosos afluentes que recibe y a las abundantes lluvias presentes en su recorrido, es el tributario del océano pacífico más caudaloso en Suramérica. Presenta una longitud de 410 Km, a lo largo de su curso recibe más de 130 cuencas entre las más importantes tenemos: Tadocito, Mungarrá, Iró, Condoto, Cajón, Sipí, Cucurrupí, Copomá, Tamaná, Munguído y Calima. Su trayectoria recorre el municipio de Pueblo Rico en Risaralda y los municipios de Tadó, Unión Panamericana, Istmina, Medio San Juan, Iró, Condoto, Novita, Sipí y Litoral del San Juan. Cuenta con un área total de 15.000 km2; en la parte alta, se encuentra la estación de Tado, en el municipio del mismo nombre, equivalente al 11% del área total; el transporte de sedimentos en este punto de la cuenca registra un valor medio mensual multianual de 6,2 kton/dia. El régimen hidrológico y de sedimentos es bimodal, con valores moderadamente altos en abril y mayo durante el primer semestre; y en octubre, noviembre y diciembre, cuando se presentan valores por encima del promedio anual, siendo noviembre el valor más alto del ano, con 14,8 kton/dia; y valores bajos en los meses de julio, agosto y septiembre, con 2,8 kton/dia en agosto, mes en el que se registra el valor más bajo del año.[58]

Caldas. El 25.5 % (104) de los títulos auríferos en explotación están en este departamento que tiene su mayor producción en la región occidental que significó el 2.4 % del total nacional en 2014 y 20.9 % en el acumulado. La componen los municipios de Marmato (16 t; 97.7 %), Supía (0.4 t; 2.2 %) y La Merced (0.8 t; 0.05 %)

Los títulos mineros preseleccionados y la cuenca de afectación son los siguientes:

Tabla 14. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Caldas

MUNICIPIO	Distritos	Principal	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	007-85M	GAFE-02	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	135-98M	HETJ-31	Explotación	Medio Cauca

[58] Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales – IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá D.C. 2010

Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	CHG-081	CHG-081	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	156-98M	HESG-03	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	157-98M	HETL-03	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	027-98M	GIVD-01	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	030-98M	HETL-12	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	134-98M	HFRG-01	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	026-98M	HETJ-14	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	031-98M	GIVD-02	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	172-98M	HETJ-20	Explotación	Medio Cauca
Marmato	Marmato - Mistrató	Metales preciosos	173-98M	HETJ-21	Explotación	Medio Cauca

Tolima. Como la principal región tolimense figura la provincia de Los Nevados con un aporte del 0.4 % al total nacional en 2014 y de 0.4 % al acumulado. Esta región la componen los municipios de Santa Isabel (1.13 t; 50.8 %), El Líbano (1.06 t; 47.8 %), Venadillo (0.02 t; 1 %), Lérida (0.01 t; 0.4%) y Casablanca (< 0.001 t; 0.02 %).

La provincia sur, en la que se incluye la cuenca del río Saldaña, figura como segunda con un registro oficial muy bajo. Esta provincia incluye: Ataco (1.3 t; 94.9 %), Chaparral (0.035 t; 2.6 %), Coyaima (0.03 t; 2.2 %), Roncesvalles (0.003 t; 0.3 %) y Ortega (< 0.001 t; 0.0.3 %).

Aunque la mayor producción se presenta en la provincia de Los Nevados, la relevancia por vertimientos inadecuados es superior en la provincia Sur, por tal razón se preseleccionaron los siguientes títulos mineros en los municipios de:

- Líbano,
- Santa Isabel,
- Chaparral y
- Coyaima.

Tabla 15. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Tolima

MUNICIPIO	Distritos	Principal	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Líbano	Bermellón	Metales preciosos	0819-73	HDDM-03	Explotación	Alto Magdalena
Santa Isabel	Bermellón	Metales preciosos	14008	FHSO-02	Explotación	Alto Magdalena
Líbano	Bermellón	Metales preciosos	CCC-111	CCC-111	Explotación	Alto Magdalena
Coyaima	Ataco - Payandú	Metales preciosos	EBC-101	EBC-101	Explotación	Alto Magdalena
Chaparral	Ataco - Payandú	Metales preciosos	EJV-152	EJV-152	Explotación	Alto Magdalena
Chaparral	Ataco - Payandú	Metales preciosos	HBN-091	HBN-091	Explotación	Alto Magdalena

La cuenca alta del río Magdalena recibe el aporte de varios afluentes que nacen en ambientes muy variados de las cordilleras Central y Oriental, en los cuales se conforman unidades ecosistémicas que van desde las nieves perpetuas, hasta cálidos desiertos. El Macizo Colombiano, el Nudo de los Pastos, el piedemonte andino, el valle alto del Magdalena, el desierto de la Tatacoa, el complejo volcánico Ruíz-Tolima y los rápidos de Honda son los más destacados.

Esta cuenca comprende entre su nacimiento en la laguna de la Magdalena y el Salto de Honda, próximo a la ciudad del mismo nombre en el departamento del Tolima a 229 msnm la longitud del tramo es de 638km y alcanza hasta este punto en su cuenca hidrográfica un área de 55.441km^2 con un caudal medio multianual de 1.385 m^3/s. en este tramo se localizan los ríos Suaza, Paéz, Yaguará, Neiva, Bache, Cabrera, Prado, Saldaña, Sumapaz, Bogotá, Coello, Totaré y Gualí. Como característica se encuentra el único embalse dentro de su cauce, el de Betania, localizado 35Km aguas arriba de Neiva.[59]

Bolívar. Este departamento cuenta con el 10.3 % (42) del total de títulos auríferos en etapa de explotación en el país. Las dos regiones del sur de Bolívar figuran como las más importantes: el Magdalena Medio Bolivarense es el principal con 3.9 % de aporte a la producción nacional de 2014 y de 6.2 % al acumulado, y está compuesto por Santa Rosa del Sur (14.3 t; 40.1 %), Simití (13.9 t; 39.8 %), San Pablo (3.9 t; 10.9 %), Morales (3.1 t; 8.7 %), Rioviejo (0.3 t; 0.9 %) y Arenal (0.2 t; 0.6 %)

Por su parte, la Mojana bolivarense, que aportó el 0.7 % en 2014 y representó un acumulado del 1.5 %, la integran los municipios de: Montecristo (4.4 t; 53.1 %), San Jacinto del Cauca (2 t; 23.3 %) y Tiquisio (2 t; 23.6 %).

Por su tradición minera y la producción acumulada fueron seleccionados los municipios de:

- Santa Rosa del Sur,
- Montecristo
- Altos del Rosario
- Norosi
- San Martin de Loba

[59] ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2010

Tabla 16. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Bolívar

MUNICIPIO	Distritos	Principal	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Altos Del Rosario	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	IFD-11271	IFD-11271	Explotación	Medio Magdalena
Altos Del Rosario	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	HGQH-02	HGQH-02	Explotación	Medio Magdalena
Hatillo De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos			Explotación	Bajo Magdalena
Montecristo	Mojana Bolivarense	Metales preciosos	0026	HEOM-01	Explotación	Bajo Cauca
Montecristo	Mojana Bolivarense	Metales preciosos	19962	GFQA-08	Explotación	Bajo Cauca
Montecristo	Mojana Bolivarense	Metales preciosos	20002	GFQA-44	Explotación	Medio Magdalena
Montecristo	Mojana Bolivarense	Metales preciosos	20006	GFQA-34	Explotación	Bajo Cauca
Montecristo	Mojana Bolivarense	Metales preciosos	19465	GFBA-03	Explotación	Bajo Cauca
Norosi	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	FHLI-01	FHLI-01	Explotación	Medio Magdalena
Norosi	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	JGF-09412	JGF-09412	Explotación	Medio Magdalena
San Martín De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	HEQB-02	HEQB-02	Explotación	Medio Magdalena
San Martín De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	IEV-16061	IEV-16061	Explotación	Medio Magdalena
San Martín De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	GETC-13	GETC-13	Explotación	Medio Magdalena
San Martín De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	GETC-13	GETC-13	Explotación	Medio Magdalena
San Martín De Loba	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	HHLD-08	HHLD-08	Explotación	Medio Magdalena
Santa Rosa Del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	21906	HFHE-04	Explotación	Río Nechi
Santa Rosa Del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	21907	HFHE-07	Explotación	Río Nechi
Santa Rosa Del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	19995	GFQA-14	Explotación	Bajo Cauca
Santa Rosa Del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	19468	GFBA-01	Explotación	Bajo Cauca
Santa Rosa Del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	19471	GFBA-02	Explotación	Bajo Cauca
Santa Rosa del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	20175	GFWG-03	Explotación	Río Nechi
Santa Rosa del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	20181	HFHE-06	Explotación	Río Nechi
Santa Rosa del Sur	Magdalena Medio Bolivarense	Metales preciosos	S-LSB-28	S-LSB-28	Explotación	Medio Magdalena

En este departamento se manejaran básicamente 3 cuencas, la cuenca del Rio Nechi, La del Medio Magdalena y la del Bajo Cauca.

La cuenca hidrológica del Medio Magdalena (Instituto de Hidrología, Meteorología, Estudios Ambientales IDEAM, 2002) referente a la unidad hidrogeológica del valle inferior del Magdalena (IGAC, Instituto Alexander Von Humbolt, 2008), formada por el río Magdalena; los Brazo Guayabal, Rosario y Papayal; las Ciénagas del Rosario, Chimí, San Vicente, Escobilla, El Corozo, Manuel y Papayal; las Lagunas Matatigre y Sampuna; las Quebradas Majagualito, Norosí, Mejía, Azulita, La Danta y Platanal y los Caños El Violo, Tortugas, Tapao, Solera, Los Caimanes y El Unazo.

El río Nechí nace en la jurisdicción del municipio de Yarumal, y sirve de límite entre diversos municipios de Antioquia, como Campamento, Angostura, Anorí, Yarumal,

Valdivia, Tarazá, Cáceres, Zaragoza, El Bagre, Caucasia y Nechí. La cuenca del rio Nechí tiene una extensión de 14613 km2, cuenta con un caudal (año promedio) de 826 m3/s y una oferta anual (año promedio) de 26065 millones de metros cúbicos, el rio Nechí es uno de ríos en Antioquia con mayor aporte la parte baja de la cuenca del rio cauca, en la zona hidrográfica correspondiente a el rio Nechí, se reconocen 26 cabeceras municipales. En el área hidrográfica correspondiente a la cuenca del Nechí se cuenta con diversos cuerpos de agua entre estos cuenta con 14 ciénagas a las cuales corresponde un área de 944,9 ha, 1 embalse con un área de 22,8 ha y 8 lagunas con un área de 2996,2 ha.[60]

Con respecto a la calidad del cuerpo de agua según el estudio nacional del agua se encontró que la subzona hidrográfica con con mayor presión dentro de la zona hidrográfica del Rio Nechí corresponde al rio Porce. Para el año 2000 en el estudio nacional del agua se estipulo que para el rio Nechí la demanda anual del recurso hídrico era de 250,64 millones de metros cúbicos y la oferta media anual 26623 millones de metros cúbicos de agua, la oferta media anual neta de 133,12 millones de metros cúbicos y oferta año seco anual 19346 millones de metros cúbicos.

Cauca. En este departamento se encuentra el 3.2 % (13) de las áreas tituladas para oro en etapa de explotación. La región occidental aportando 4.8 % en 2014 y 1.6 % al acumulado, y la región norte con 2.4 % y 1.5 % respectivamente. Los municipios de esta la región occidental son: Timbiquí (6.6 t; 73.6 %), López de Micay (1.2 t; 13.7 %) y Guapi (1.1 t; 12.7 %); mientras que los de la provincia norte son: Buenos Aires (3.6 t; 43.3 %), Suárez (3.3 t; 39.8 %), Santander de Quilichao (1.3 t; 15.1 %), Caloto (0.2 t; 1.8 %), Puerto Tejada (0.002 t; 0.03 %) y Guachene (< 0.001 t; 0.01 %).

Por producción aurífera fueron seleccionados

- Tambo
- Buenos Aires y
- Suárez

Como observamos estas minas se encuentran ubicadas en las cuencas del Alto Cauca y Alto Patía.

En la cuenca alta del río Cauca se presentan escorrentías promedio, prácticamente durante todo el año. Se caracteriza por la gran variedad de sistemas hidroclimáticos

[60] ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2010

desde el nacimiento en el Macizo Colombiano, hasta su desembocadura en el río Magdalena. Relacionado con los diferentes sistemas, se identifican cuencas aportantes de grandes volúmenes de agua, desde la cuenca alta, como son el rio Fraile, Amaime, La Vieja, Palo y Paila, en los departamentos de Valle y Cauca, y en la parte baja de la cuenca, los ríos de mayor aporte que se encuentran son el Tarazá, Nechí y Porce, en los departamentos de Caldas y Antioquia. (ENA, 2010).

Tabla 17. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cauca

MUNICIPIO	Distritos	Principal	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	18112	GEDI-01	Explotación	Alto Cauca
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	18113	GEDI-02	Explotación	Alto Cauca
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	18114	GEDI-05	Explotación	Alto Patía
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	22220	HDHG-03	Explotación	Alto Patía
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	22268	HDHG-04	Explotación	Alto Patía
El Tambo	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	BA6-161	BA6-161	Explotación	Alto Patía
Suárez	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos			Explotación	Alto Cauca
Suárez	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	HJ3-08211	HJ3-08211	Explotación	Alto Cauca
Buenos Aires	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	19142	19142	Explotación	Alto Cauca
Buenos Aires	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	19141	19141	Explotación	Alto Cauca
Buenos Aires	Tambo - Buenos Aires	Metales preciosos	19145	19145	Explotación	Alto Cauca

La cuenca alta del rio Patía, se ubica en los departamentos de Nariño y Cauca, que comprende todos aquellos afluentes del río Patía que se encuentran en los flancos interandinos que rodean el valle alto del río Patía; el cual está ubicado entre los 550 y 1000 msnm rodeado por las cordilleras Centro-Oriental, Central, Occidental y la meseta Popayán, y forma parte de la Formación del Galeón, constituida por lavas andesíticas, piroclásticas y rocas volcano-sedimentarias cuyas fuentes son el volcán Sotará y otras estructuras volcánicas ubicadas al sur de éste[61].

[61] TORRES, M., 1997.- Aporte al conocimiento de la Geología y la estratigrafía de la Formación Popayán, departamento del Cauca. Novedades colombianas, Nueva Época, 7: 4-28.

5.2.2 Selección de municipios carboneros

La información oficial de producción discriminada por municipios está disponible desde 2006 para los carbones de la región andina y desde 2011 para los regiones de Cesar y La Guajira; con esta diferencia pero bajo la misma metodología se eligieron los municipios productores de carbón para los tres departamentos previamente seleccionados.

Cesar. Este departamento posee el 3.9 % de títulos carboneros en etapa de explotación. El acumulado analizado corresponde a los últimos cuatro años (2011 – 2014) que muestra la siguiente distribución para los municipios productores de este departamento: La Jagua de Ibirico (81.1 Mt; 44.4 %), Chiriguaná (35.2 Mt; 19.3), Becerril (26.3 Mt; 14.4 %), Agustín Codazzi (24.4 Mt; 13.3 %) y El Paso (15.8 Mt; 8.6 %).

De acuerdo a lo anterior se preseleccionaron los siguientes títulos mineros:

Tabla 18. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cesar

MUNICIPIO	DISTRITO	PRODUCTOS	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Chiriguaná	La Jagua	Carbón	284-95	GGPG-01	Explotación	Río Cesar
El Paso	La Jagua	Carbón	5160	EDUH-01	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	031-92	GCMM-01	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	056-90	GAIK-01	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	109-90	GBKG-02	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	132-97	GION-01	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	DEU-111	DEU-111	Explotación	Río Cesar
La Jagua de Ibirico	La Jagua	Carbón	DKP-141	DKP-141	Explotación	Río Cesar

La cuenca del Río Cesar tiene una extensión de 18485 kilómetros cuadrados, o su equivalencia de 1.848.578 hectáreas, incluyendo todas sus áreas de drenaje en los departamentos del Cesar, Guajira y Magdalena, y es drenada de Norte a Sur por las siguientes cuencas; Microcuencas del rio Cesar, Badillo, Rio Seco, Guatapurí, Rio Pereira, Río Mocho, Cesarito, Tocaimo, Margiriamo, Fernambuco, Guarupal, Ariguaní, Casacará, Tucuy-Sororia, Calenturitas, San Antonio, Maracas, Perete, y en conjunto conforman la gran cuenca del río Cesar, el cual actúa como recurso integrador físico que canaliza las aguas de todas estas cuencas. El río Cesar se caracteriza por que su nacimiento, es la unión de dos ríos que son; el Rio Badillo, que nace en la Sierra Nevada de Santa Marta y el río Cesar, que se unen en el sector conocido como Vereda Guacochito. Este rio tiene la particularidad que atraviesa la mayor parte del Departamento del Cesar, y en su recorrido desde su Nacimiento hasta su desembocadura atraviesa 15 municipios como; Riohacha, San Juan del Cesar, Villanueva, Urumita, La Jagua del Pilar,

El Molino en el departamento de la Guajira. Y en el departamento del Cesar recorre los municipios de; Valledupar, La Paz, San Diego, Agustín Codazzi, Becerril, El Paso, Astrea, Chiriguana y Finalmente en Chimichagua[62].

Boyacá. El mayor número de títulos en etapa de explotación para carbón están en este departamento con 267 que representan el 38.3 % del total nacional. Como se mencionó anteriormente la serie histórica de producción municipal oficial tiene una longitud de nueve años (2006 – 2014), para este lapso la producción departamental alcanzó 27.3 millones de toneladas (Mt), de las cuales el 90.3 % se concentró en cinco regiones así: Norte (23.2 %), Valderrama (20.9 %), Sugamuxi (18 %), Centro (17 %) y Tundama (11.3 %). Las cifras para referirse a la producción municipal se expresan en miles de toneladas (kt)

La provincia Norte está compuesta por Sativanorte (384.9 kt; 33 %), Sativasur (333.7 kt; 28.6%), San Mateo (331 kt; 28.4 %); La Uvita (63.2 kt; 5.4 %), Susacón (33.9 kt; 2.9 %) y Boavita (18.8 kt; 1.6 %).

La Provincia de Valderrama la componen: Socha (2069.5 kt; 35.7 %), Socotá (1791.1 kt; 30.9 %), Tasco (1415.4 kt; 24.4 %), Chita (162.1 kt; 2.8 %), Jericó (264.2 kt, 4.6 %), Beteitiva (48.6 kt; 0.8 %) y Paz de Río (45.2 kt; 0.8 %).

La provincia de Sogamuxi la integran: Sogamoso (2075 kt; 41.6 %), Mongua (909.6 kt; 10.6 %), Tópaga (723.5 kt, 14.5 %), Gámeza (625.8 kt, 12.5 %), Monguí (530.7 kt, 10.6 %), Aquitania (6.8 kt; 1.2 %) e Iza (48.8 kt, 1 %), a estos se suman Nobsa, Tota y Pesca que en conjunto suman 13.6 kt (0.3 %).

La provincia Centro está representada por: Samacá (3516.4 kt; 83.4), Tuta (286.5 kt; 6.8 %), Ventaquemada (121.2 kt; 2.9 %), Chivatá (79.8 kt, 1.9 %), Cucaita (82 kt; 1.9 %), Motavita (75.7 kt, 1.8 %), Tunja (53.3 kt; 1.3 %) y Cómbita (0.5 kt; 0.01 %).

La provincia de Tundama la componen: Paipa (2404.6 kt; 77 %), Corrales (638.6 kt; 20.4 %) y Duitama (80.1 kt; 2.6 %).

De los 48 municipios boyacenses con registro de producción carbonera, por esquemas de producción y concentración de número de minas se han seleccionado los municipios de:

[62] PLAN DE ORDENAMIENTO RECURSO HIDRICO RIO CESAR, 2014

- Samacá,
- Paipa,
- Sogamoso y
- Socha.

Tabla 19. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Boyacá

MUNICIPIO	DISTRITO	PRODUCTOS	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Corrales	Sugamuxi	Carbón	01-058-96	GGJN-09	Explotación	Río Sogamoso
Corrales	Sugamuxi	Carbón	14182	GAEM-10	Explotación	Río Sogamoso
Corrales	Sugamuxi	Carbón	14186	GAEM-27	Explotación	Río Sogamoso
Corrales	Sugamuxi	Carbón	AGU-101	AGU-101	Explotación	Río Sogamoso
Gameza	Sugamuxi	Carbón	CGP-122	CGP-122	Explotación	Río Sogamoso
Gameza	Sugamuxi	Carbón	14171	GAEM-08	Explotación	Río Sogamoso
Iza	Sugamuxi	Carbón	01-001-95	GFXG-02	Explotación	Río Sogamoso
Jericó	Sugamuxi	Carbón	DB7-151	DB7-151	Explotación	Río Sogamoso
Jericó	Sugamuxi	Carbón	BJR-102	BJR-102	Explotación	Río Sogamoso
Ráquira	Zipa - Samacá	Carbón	3592	FADE-01	Explotación	Río Sogamoso
Ráquira	Zipa - Samacá	Carbón	7238	EHNG-02	Explotación	Río Sogamoso
Samacá	Zipa - Samacá	Carbón	01-003-95	GGCO-01	Explotación	Alto Meta
Samacá	Zipa - Samacá	Carbón	031-93	GCFB-08	Explotación	Río Sogamoso
Samacá	Zipa - Samacá	Carbón	11386	FFOF-01	Explotación	Alto Meta
Samacá	Zipa - Samacá	Carbón	7239	EHNG-03	Explotación	Río Sogamoso
Samacá	Zipa - Samacá	Carbón	7615	EIEM-01	Explotación	Alto Meta

En este departamento se preseleccionaron títulos mineros que se encuentran en dos cuencas hidrográficas: Cuenca del Rio Sogamoso y la del Alto Meta.

La cuenca cubre las partes norte y oriente del departamento del Meta, y se encuentra conformada por la totalidad del territorio de los municipios de San Juanito, El Calvario, Restrepo, Cumaral, Villavicencio, Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López, San Martín, San Carlos de Guaroa y Castilla la Nueva, y por parte de los municipios de Acacias, Guamal, Fuentedeoro, Granada, Cubarral, Puerto Lleras y Puerto Gaitán, en una extensión superficial aprox. de 36.954 Km² equivalentes al 43.17% del total del departamento. Así mismo, conforman la cuenca parte de los Parques Nacionales Naturales Chingaza y Sumapaz, y las Zonas de Reserva Forestal Buenavista, Alto de Menegua y Vanguardia. De igual manera, la cuenca cubre parte de las subregiones de vertiente, piedemonte y sabanas. Dentro de los principales afluentes con que cuenta esta

cuenca dentro del departamento del Meta se tiene: los ríos Humadea, Guamal, Orotoy, Acacías, Guayuriba, Negro, Ocoa, Guatiquía, Guacavía, Humea, Upía, Cabuyarito, Melúa, Manacacías, Yucao, y los caños: Camoa, Blanco, La Unión, Grande, Chichimene, Quenane, Mayuga, Caibe, Pecuca, Naguaya, Macapay, Pirigua, Mucoya, Aceite, Nare, Cumaral y Casibare; algunos de ellos abastecedores de acueductos municipales.[63]

El Río Sogamoso se origina de la confluencia de los ríos Chicamocha y Suárez en el sitio denominado las juntas, en los límites de los Municipios de Villanueva, Los Santos y Zapatoca a una altura de 300 m.s.n.m. y lleva sus aguas al Río Magdalena. Hacia el río Sogamoso escurren, las microcuencas de las quebradas La Honda, Los Angelinos, Del Potrero, Santera, Chivatera Zanjon Aguas Gordas y dos áreas de escurrimiento directo adyacentes a esta última.[64]

Morfométricamente es una cuenca que tiene una superficie de 111.944 ha, correspondiente únicamente a la zona de la cuenca del río Sogamoso, que va desde la confluencia de los ríos Fonce con el Suárez y baña importantes municipios como son San Vicente de Chucurí, Betulia, Girón, Lebrija, Los Santos, El Carmen, Barichara y San Gil. Tiene una longitud de unos 116 km y la pendiente media desde el Fonce -Suárez hasta su desembocadura de unos 5 m/km. Presenta alturas del cauce que van desde los 700 msnm hasta 70 msnm, en su confluencia con el río Magdalena.[65]

Cundinamarca. El 23.8 % (166) de los títulos carboneros en etapa de explotación están contenidos en este departamentos. En el acumulado departamental de los últimos nueve años, la provincia de Ubaté ha aportado un equivalente al 91.6 % (17.7 Mt) convirtiéndose en la región más relevante: Guachetá (4792.4 kt; 27 %), Cucunubá (4513.5 kt; 25.4 %), Sutatausa (3392.7 kt; 19.1 %), Lenguazaque (3186.9 kt; 18 %), Tausa (1842 kt; 10.4 %) y Ubaté (12.5 t; 0.07 %).

En segundo lugar se encuentra la provincia Sabana Centro con aportes equivalentes al 5.1 % (0.99 Mt), compuesta por: Cogua (560.7 kt; 56.7 %), Zipaquirá (412.5 kt; 41.7 %), Nemocón (15.3 kt; 1.6 %) y Tabio (0.4 kt; 0.4 %). Por configurarse en el la tercera región más productora de carbón en el país se ha seleccionado la provincia de Ubaté para realizar los muestreos.

De lo anterior, se preseleccionaron los siguientes títulos mineros:

[63] http://ccai-colombia.org/files/primarydocs/2008corm.pdf
[64] MUNICIPIO DE LOS SANTOS – SANTANDER. http://www.lossantos-santander.gov.co/apc-aa-files/383666333637613662336465646633 61/bHidrografia_1.pdf
[65] Diagnóstico Dimensión Biofísico Ambiental Territorial De Santander https://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/documentos/docInteres/Tomo%20I%20Dimension%20Biofisica%20Ambiental.pdf

Tabla 20. Títulos mineros preseleccionados y cuenca de afectación en el municipio de Cundinamarca

MUNICIPIO	DISTRITO	PRODUCTOS	CODIGO_EXP	COD_RMN	ETAPA	CUENCA
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	DAG-082	DAG-082	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	116-93	GCFB-11	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	13632	FHQI-01	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	13949	FIOL-12	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	13952	FIOL-08	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	13954	FIOL-13	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	13956	FIOL-11	Explotación	Río Sogamoso
Cucunubá	Zipa - Samacá	Carbón	15432	GBJE-11	Explotación	Río Sogamoso
Guachetá	Zipa - Samacá	Carbón	15311	GBGI-05	Explotación	Río Sogamoso
Guachetá	Zipa - Samacá	Carbón	2505	DGIL-01	Explotación	Río Sogamoso
Guachetá	Zipa - Samacá	Carbón	DDI-101	DDI-101	Explotación	Río Sogamoso
Guachetá	Zipa - Samacá	Carbón	EGF-131	EGF-131	Explotación	Río Sogamoso
Guachetá	Zipa - Samacá	Carbón	HFS-081	HFS-081	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	02-004-98	HBWJ-09	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	02-009-97	HBWJ-04	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	1129T	HFHM-01	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	13243	FJMM-01	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	13608	FJLF-02	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	15427	GBJE-10	Explotación	Río Sogamoso
Lenguazaque	Zipa - Samacá	Carbón	15431	GBJE-09	Explotación	Río Sogamoso

6. PLAN GENERAL DE TRABAJO

El Plan para el desarrollo del presente proyecto está conformado por las siguientes etapas.

6.1 ETAPA 1: CONFORMACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO

Esta etapa es fundamental porque es la que establece los lineamientos de distribución del grupo de profesionales y expertos asociados al estudio en equipos de trabajos que permiten enriquecer el desarrollo del presente proyecto.

Se conformaron equipos de trabajo los cuales estarán estructurados de la siguiente forma:

Equipo de Expertos Internacionales: Se encargarán de la fase de sustentación del análisis de los resultados e interpretación de los resultados obtenidos. Aportarán recomendaciones al estudio, con el fin de enriquecer los resultados alcanzados

Se cuenta con el apoyo de Ingenieros geólogos e Ingenieros de Minas de las universidades de Castilla La Mancha y de Barcelona. (Doctores. Sergi Diez Salvador, Pablo Higueras H. y Efren García O.) Complementado con la Dra Ana Carolina Ruíz Fernández de la Universidad Autónoma de México, Experta en análisis geoquímico isotópico y geoquímica de metales pesados en procesos de sedimentación y especiación de contaminantes, así como el apoyo del ingeniero de Minas y PhD. En Ingeniería de Minas Jorge Loredo Pérez. Experto en geología de minas de la Universidad de Oviedo, director del departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo desde el año 2004. Ver Anexo 12-3. Se incluye un médico Especialista en salud Ocupacional experto en el sector minero
(Dr. Santiago español Cano)

Equipo de Expertos Nacionales: Se cuenta con el apoyo Expertos Nacionales en ingeniería de Minas e Ingeniería geológica, los cuales con base en su experiencia aportarán sus conocimientos en el manejo de los procesos a evaluar.

Ph.D. Ing. José Luís Marrugo Negrete - Experto en Dinámica de contaminantes, con énfasis en mercurio
MSc. Jairo Herrera Arango - Profesional temático en Minería y recursos mineros
Juan C. Zuñiga Vera – Geólogo experto en yacimientos de carbón
MSc. Freddys Young Castro – MSc Ciencias Ambientales experto en problemática minera del sur de Bolívar. Ver Anexo 12-3.

Expertos en Planeación Minera y en Procesos de producción más limpia y reducción de uso de mercurio en el proceso de explotación de oro

Equipo de Campo: Se Estructuró equipo de campo conformado por:

Dos Geógrafo,	Juan Camilo Ospino – Álvaro Ramos
Dos Ingeniero de Minas,	Alex Lemus – Jennifer Márquez
Cuatro Ingeniero Ambiental,	Paola Burgos - Ivonne Negrete – Zunylda Roca – Manuel Coy
Tres Químico	José Pinedo – Iván Urango – Saudith Burgos
Tres auxiliar	Alexis De león – Ángela Aparicio – José Durango

Estos se encargarán de llevar a cabo la captura de información primaria y secundaria en campo. Aplicando instrumentos de captura de información, constituidos por encuestas, listas de chequeo y listas de información técnica.

Se realizarán entrevistas a personal de las minas y se obtendrá de forma directa información requerida para establecer el balance del recurso hídrico, los datos técnicos del proceso y uso de agua, esto estará supeditado a la disponibilidad y disposición que tenga el sector al momento de la visita.

Los ingenieros ambientales se encargarán de la captura de información relacionada con el balance del recurso hídrico, estructurarán la información requerida, como identificación de etapas del proceso y su uso de recurso hídrico, acompañado del caudal asociado a estas etapas del proceso.

Los químicos se encargarán de la recolección de las muestras, teniendo en cuenta y como soporte los lineamientos para toma de muestras ambientales establecidos por el IDEAM, Standard Methods – APHA. Entre otros.

Equipo de Central: Se tiene un equipo de trabajo central que se encarga de recepcionar, analizar, estructurar y organizar la información de todos los equipos de trabajo del proyecto.

Conformado por el Director General del Proyecto, Experto Nacional en Minería, coordinador Operativo, Coordinador de Ingeniería y asistente de Ingeniería.

José Luis Marrugo, Jairo Herrera, Roberth Paternina, Karol Velásquez, Ivonne Negrete, con aportes ad-honoren de Ingeniero Oseas Garcia.

6.2 ETAPA 2: TRABAJO DE CAMPO

La realización el trabajo de campo se ha estructurado de la siguiente forma:

Contacto Previo con Zona Estudio	Los equipos de trabajo asistirán a las zonas seleccionadas, previo contacto con líderes y contactos reconocidos en las zonas de estudio, con el fin de garantizar las visitas y evitar inconvenientes con actores
Preparación Salida	Los equipos de trabajo realizarán la preparación de la salida Teniendo en cuenta los requerimientos logísticos, informativos De transportes y de materiales a utilizar en la fase de campo
Trabajo en Mina	El trabajo de levantamiento de información y toma de muestra. En las minas está planificado para realizarse en dos días por Minas. La llegada a la Mina estará dirigida por los expertos: Ing. José Marrugo, Ing, Jairo Herrera y MSc. Freddys Young; se contará con el apoyo de Ing. Oseas García en las zonas de Antioquia. En Mina los Ingenieros de Minas y Ambientales se encargarán de aplicar los instrumentos de captura de información primaria; y realizarán las entrevistas a los mineros y obtendrán información secundaria a partir de la población. Los químicos se encargan de las tomas de muestras de las matrices ambientales conjuntamente con el auxiliar. Aplicando las metodologías del IDEAM para toma de muestras y complementadas con metodologías de la EPA y el Standard Methods El Geógrafo se encarga de levantamiento de información geográfica, con equipos calibrados, para organizar el SIG el mapeo de la zona y la ubicación de las cuencas y micro cuencas asociadas al proyecto minero evaluado
Permanencia en zona	Los equipos de trabajo permanecerán en las zonas de trabajo en jornadas diurnas y pernoctarán en cascos urbanos seguros, con el fin de evitar riesgos asociados a la seguridad de las zonas
Manejo de la Información	La información generada, con las respectivas evidencias serán entregadas a equipo de trabajo encargado de la centralización de la información, para su respectivo procesamiento.

6.3 ETAPA 3: RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La recopilación secundaria se viene realizando desde el momento que se contrató el estudio, para tal fin se ha recopilado información proveniente de;

- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; insumos como metodología de muestreo y análisis manejado por el IDEAM, Normatividad asociada al sector minero, Guías ambientales para el sector minero, entre otros.

- Unidad de Planeación Minero Energética

- Ministerio de Minas y Energía – Programa de producción Limpia para el sector Minero

- Corporaciones Autónomas Regionales – C.A.R – Recopilación de los POMCAS de las regiones seleccionadas en el presente estudio

- Municipios – Recopilación de los POT de los municipios involucrados en el Estudio.

6.4 ETAPA 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

La ejecución de esta etapa se llevará a cabo luego de realizada cada campaña de muestreo y captura de información técnica en campo. Se hará en dos sentidos:

Los resultados de los ensayos de laboratorio serán analizados y evaluados con el fin de establecer las condiciones de calidad de las aguas naturales que se encuentran en el área de influencia del proyecto minero evaluado

Los resultados de los datos técnicos encontrados en los procesos evaluados, serán analizados y se adoptarán las mejores prácticas de manejo del recurso hídrico; de lo contrario con base en los lineamientos de Producción limpia y teniendo en cuenta las metas de regulación del vertimiento, requeridas por la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, se indicarán las mejores alternativas requeridas para que el Sector Minero evaluado alcance estos requerimientos. Lo anterior dentro del marco de Programas integrales de gestión Ambiental, que le permitan a la minería colocarse a tono con los objetivos trazados para el sector, como lo es el cumplimiento de las normas ambientales vigentes asociadas a él.

6.5 ETAPA 5: SOCIALIZACIÓN

La Socialización se realizará en dos fases:

- **La Primera fase** consiste en socializar el proyecto al sector Minero y a las Corporaciones Autónomas regionales en los departamentos involucrados en el estudio.

  En esta fase se busca acercamiento con los dos sectores, tanto el institucional como con el gremio de mineros en cada una de las regiones a estudiar. Esto nos permitirá tener mayor acceso a las zonas de explotación, sobre todo aquellas que poseen problemas de orden pública y de difícil acceso asociado a este mismo tema.

- **La segunda fase,** Se realizará una vez termine el estudio y se consolide toda la información, se llevará a cabo con los mismos sectores involucrados en la primera fase y adicionalmente se llevará a cabo una socialización al nivel central contando con la participación de los ministerios y la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME.

7. CRONOGRAMA DE TRABAJO

Ver documento adjunto proyect

CONVENIO UPME-UNICORDOBA 201			
nicio	0 días	jue 02/07/15	jue 02/07/15
onvenio UPME-UNICORDOBA 2015	149,88 día	jue 02/07/15	sáb 28/11/15
FASE 1-Planeacion y 1er Entregable	126,88 días	jue 02/07/15	jue 05/11/15
1.1. Elaboración y presentación del primer entregable.	24 días	jue 02/07/15	sáb 25/07/15
1.2. Selección de minas de carbón y oro	5 días	jue 02/07/15	lun 06/07/15
1.3. Adquisicion Material Logistico	4 días	jue 02/07/15	dom 05/07/15
1.4.Elaboración primer entregable	12 días	vie 03/07/15	mar 14/07/15
1.5.Elaboración plantillas de captura de Información	4 días	jue 02/07/15	dom 05/07/15
1.6.Estructura equipos de trabajo	2 días	jue 02/07/15	vie 03/07/15
1.7. Caracterización de muestras tomadas	68 días	jue 09/07/15	lun 14/09/15
1.8.Reunión de concertación de equipos tecnicos	2 días	lun 06/07/15	mar 07/07/15
1.9.Caracterización de zonas de estudio	30 días	lun 06/07/15	mar 04/08/15
1.10. Análisis de Núcleos	120 días	jue 09/07/15	jue 05/11/15
1.11.Evaluación de Isotopos	120 días	jue 09/07/15	jue 05/11/15
1.12. Informe demanda del recurso en zonas de estudio	60 días	jue 09/07/15	dom 06/09/15
FASE 2 - Primera salida a regiones de estudio-Toma de muestras de matrices ambientales	71,88 días	lun 06/07/15	mar 15/09/15
2.1.Salida a Minas del Antioquia (Municipios: Segovia,Zaragoza,Buritica y Frontino)	5 días	lun 20/07/15	vie 24/07/15
2.2. Salida minas Sur de Bolivar:San Martin de Loba,Altos del Rosario ,Norosi y Hatillo de Loba	5 días	lun 06/07/15	vie 10/07/15
2.3.Salida a Minas del Chocó	5 días	lun 06/07/15	vie 10/07/15
2.4.Salida a Minas del Cesar	5 días	lun 20/07/15	vie 24/07/15
2.5.Salida Minas de Cundinamarca	5 días	dom 26/07/15	jue 30/07/15
2.6.Salida Minas de Caldas	5 días	dom 26/07/15	jue 30/07/15
2.7.Salida Minas de Risaralda	5 días	dom 26/07/15	jue 30/07/15
2.8.Salida Minas de Tolima	5 días	dom 26/07/15	jue 30/07/15
2.9.Salida Minas de Boyacá	5 días	dom 26/07/15	jue 30/07/15
2.10.Salida a Minas del Cauca(Municipios: Buenos Aires y Suarez)	5 días	lun 06/07/15	vie 10/07/15
2.11. Informe calidad del agua por mina y por región	46 días	jue 30/07/15	lun 14/09/15
FASE 3- Segunda salida a regiones de estudio-Toma de muestra de matrices ambientales	41 días	vie 21/08/15	mié 30/09/15
3.1.Salida a Minas del Antioquia	10 días	vie 21/08/15	dom 30/08/15
3.2.Salida a Minas del Sur Bolivar	10 días	vie 21/08/15	dom 30/08/15
3.3.Salida a Minas del Chocó	10 días	vie 21/08/15	dom 30/08/15
3.4.Salida a Minas del Cesar	10 días	vie 21/08/15	dom 30/08/15
3.5.Salida Minas de Cundinamarca	10 días	sáb 05/09/15	lun 14/09/15
3.6.Salida Minas de Caldas	10 días	sáb 05/09/15	lun 14/09/15
3.7.Salida Minas de Boyacá	10 días	sáb 05/09/15	lun 14/09/15
3.8.Salida a Minas del Cauca	10 días	sáb 05/09/15	lun 14/09/15
FASE 4-Entregables	75 días	mar 15/09/15	sáb 28/11/15
4.1.Presentación Informe Segundo y Tercer Entregable	5 días	mar 25/08/15	sáb 29/08/15
4.2. Presentación cuarto entregable	30 días	mar 15/09/15	mié 14/10/15
4.3.Reunión de Equipo Técnico	2 días	mar 22/09/15	mié 23/09/15
4.4.Presentación documento Quinto Entregable	30 días	jue 24/09/15	sáb 24/10/15
4.5.Reunión equipo técnico	2 días	jue 22/10/15	vie 23/10/15
4.6.Entrega Documentos sexto entregable	30 días	jue 24/09/15	sáb 24/10/15
4.7.Revisión Productos Sexto Entregable	5 días	lun 26/10/15	vie 30/10/15
FASE 5-Socialización e infonme final	26 días	dom 01/11/15	vie 27/11/15
5.1.Socialización de resultados	10 días	dom 01/11/15	mar 10/11/15
5.2.Entrega informe Final	15 días	mar 10/11/15	mié 25/11/15
<Fin>	0 días	vie 27/11/15	vie 27/11/15

8. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LAS ETAPAS DE TRABAJO

Las metodologías utilizadas en las diferentes etapas del proyecto son las siguientes:

8.1 METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

8.1.1 Descripción de actividades para el levantamiento de la información primaria en campo

8.1.1.1 Reunión del equipo encargado del levantamiento en campo de la información primaria. La intención de esta reunión es intercambiar información que pueda aportar a la ejecución de la visita en las minas (carbón y metales preciosos) y poder distribuir tareas y responsabilidades dentro del equipo encargado del levantamiento de la información primaria.

8.1.1.2 Planificación de la visita de levantamiento de información. Este paso incluye el acopio de la información, el alistamiento de herramientas y la planificación necesaria para realizar la visita de campo.

En este paso se deben desarrollar las siguientes acciones:

a) Preparar el formato de campo de recolección de información (ver anexo No 1). El formato de campo propuesto contempla todas las pautas requeridas para realizar la visita de manera eficiente y obtener la información mínima necesaria en campo.
b) Asegurarse de que no falten las siguientes herramientas: Formato de campo, cámaras fotográficas, GPS y los instrumentos para la medición de caudal.
c) Establecer la fecha de visita conjuntamente con representantes de las minas. Es importante verificar la manera de acceso al sitio y contactar a un guía de la zona para asegurar el reconocimiento previo del acceso a la mina.
d) Ejecutar los procesos administrativos y la logística interna el suministro de los recursos necesarios para la visita de levamiento de información primaria en campo.
e) Solicitar a los representantes de las minas la fecha en las que se puede realizar la visita de levantamiento de información en campo y requerir qué personas podrían facilitar acompañamiento en el reconocimiento de la mina, los cuales deben estar presentes los días de la visita (para las entrevistas).

8.1.1.3 Ejecución de la visita de seguimiento: Una vez preparada la visita de campo, el equipo estará en condiciones de ejecutar la visita. En este paso se detallan los objetivos específicos de la visita, las actitudes que se deben mantener y la metodología por seguir durante la misma.

El equipo encargado deberá durante la ejecución de la visita estar previamente informado sobre las condiciones geográficas, geológicas, climáticas e hidrográficas de la zona de influencia de la mina.

8.1.2 Objetivos a conseguir e instrumentos utilizados durante la visita en campo

Durante las visitas se pueden utilizar los instrumentos que se detallan en el Tabla 21, los cuales son métodos efectivos para reunir información en el sitio, a manera de recolección de información primaria con personas que tengan injerencia o conocimiento de primera mano, tanto del área de influencia directa de la mina como de las actividades del proceso minero.

Tabla 21. Objetivos generales de las visitas de seguimiento y su relación con los instrumentos y formatos que se utilizan durante las mismas

Objetivos De La Visita	Instrumentos Que Se Utilizan Durante La Visita			
	Inspección Visual Sobre El Terreno	Entrevistas	Mediciones	Registro Fotográfico
Identificación del proceso minero	SI	SI	NO	SI
Definición del sistema de abastecimiento	SI	NO	SI	SI
Identificación del sistema	SI	SI	SI	SI
Identificación de los lugares de consumo de agua	SI	NO	NO	SI

Con estos instrumentos se buscamos Identificar los procesos de explotación y beneficio en las minas, Identificar las entradas y salidas en el proceso minero, Observar las condiciones ambientales existentes en el área de influencia directa de la mina, Identificar el sistema de suministro y abastecimiento de agua de la mina, Determinar el uso y consumo del agua de abastecimiento e Identificar los vertimientos originados por el proceso minero

8.1.3 Procedimiento por seguir durante la visita

Teniendo en cuenta la planificación y distribución de los objetivos de la visita, establecidos en el formato de campo se deben observar los siguientes procedimientos:

8.1.3.1 Inspección visual sobre el terreno

Constituye la fuente principal de información primaria en campo en conjunto con las mediciones de caudal. Se caracteriza por la identificación en campo de las condiciones de la mina e identificación de procesos utilizados en la explotación y beneficio, además sirve para verificar la información aportada por el personal que recibe la visita.

Una vez identificado el proceso de explotación y beneficio en la mina, se deberá identificar igualmente el suministro y abastecimiento de agua utilizada para el desarrollo del proceso minero, adicionalmente se deberá describir la línea de agua, tal que incluya los posibles vertimientos generados en el proceso y las respectivas mediciones de caudal.

La descripción de la línea de agua deberá contemplar las condiciones ambientales del cuerpo de agua que sirve de abastecimiento e igualmente las condiciones ambientales del cuerpo receptor. Así mismo, la descripción del uso y manejo dado al agua y su frecuencia en cada etapa de la actividad minera, de igual forma la utilizada en el funcionamiento normal de los campamentos.

Una vez reconocido el sitio se realizará un diagrama donde se establezca la ubicación, sistema de distribución y desagüe del agua y se ubicarán las principales válvulas y cambios de diámetro. Se entregaran las evidencias y registros a la UPME y MME

8.1.3.2 Entrevistas

Las entrevistas con los representantes de las minas son una fuente importante de información primaria, para lo cual se deberá:

Generar confianza en el entrevistado, conducir la entrevista como una conversación, recordar el objetivo de la visita y explicar las razones de la entrevista y de las notas que se están tomando, tratar de obtener la máxima información en el menor tiempo posible y tomar notas (grabaciones de voz). De igual manera recolectar información básica del minero (contacto, ubicación y otros)

8.1.3.3 Mediciones

La medición de caudal se realizará en el cuerpo de agua de abastecimiento y en el vertimiento de la mina, así como en las entradas y salidas de cada proceso en el que haya consumo del recurso hídrico.

Para la medición de caudal en la unidad de producción minera se empleará el método volumétrico y/o el método velocidad/superficie. El método seleccionado para medición de caudales en la mina será aquel que de acuerdo a las características del punto de medición se pueda aplicar.

Esta información recopilada en las mediciones de caudal, será base para la ejecución del balance hídrico que se planteará para cada unidad de producción minera.

a) Método volumétrico. La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados (FAO, 1997).

b) Método velocidad/superficie. Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula:

$$Q(m^3/s) = A(m2) \times V(m/s)$$

Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida. El cálculo del área consiste en medir y en trazar la sección transversal de la corriente y dividirla en franjas de igual ancho, midiendo las alturas medias del cauce del rio (FAO, 1997).

8.1.3.4 Registro fotográfico

En lo posible se deberá levantar un registro fotográfico en cada uno de los procesos de extracción y beneficio en cada una de las etapas del proceso minero. En cada una de las instalaciones de la mina, los puntos de captación

y vertimientos líquidos. Este registro fotográfico servirá como elemento de juicio para determinar las condiciones ambientales (impactos ocasionados) del funcionamiento de la mina.

8.2 METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico tiene como objetivo Caracterizar la demanda del recurso de cada unidad de producción minera. Conocer las necesidades o requerimientos de agua en la producción minera aurífera, de carbón y de consumo humano.

Para determinar el Balance Hídrico en cada mina se deberá realizar la medición de caudal en el suministro y abastecimiento de agua, conocer el uso y consumo en cada etapa del proceso, y por ultimo cuantificar los vertimientos de agua de la mina.

Con base a los caudales de consumo y vertimiento, se establece la demanda de agua en cada unidad de producción minera considerando las etapas del proceso que requiera el recurso hídrico. Para esto, se realizará un balance hídrico, en base al principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad. La ecuación del balance hídrico indicará los valores relativos de entrada y salida de flujo, y la variación del volumen de demanda de agua.

$$\text{DEMANDA HÍDRICA} = \sum_{i=1}^{N} \text{ENTRADAS}_i - \sum_{j=1}^{M} \text{SALIDAS}_J$$

Dónde:

- Demanda Hídrica: Balance hídrico de la unidad de producción minera (consumo del proceso productivo, consumo humano o doméstico).
- Entradas: Son todos los puntos posibles de captación de agua.
- Salidas: Son todas las salidas de agua (vertimiento, infiltración, escurrimiento, sedimentos).

8.3 METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS

Para la identificación de los aspectos e impactos se aplicará una matriz, tomando como modelo para la minería de oro la propuesta en las Guías Minero Ambientales de explotación, beneficio y transformación por el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de ambiente (2002) y para la minería de carbón lo propuesto por la UPME en la Guía Ambiental Minería Subterránea de Carbón (1998) y Guía Ambiental para Minería de Carbón a Cielo Abierto (1998).

En estas Guías se sugiere el método de matriz Causa - Efecto, método que relaciona de forma global, los factores ambientales del medio (abiótica, biótica y social), susceptibles de afectación con las actividades de explotación, beneficio y transformación desarrolladas en las minas generadoras de la afectación, la matriz se aplicará a los procesos de beneficio y de explotación tanto a cielo abierto como subterránea; teniendo en cuenta que el método sugerido en las Guías ambientales se constituye como un referente técnico y que la información consignada en ella debe ser adaptada para cada unidad de producción minera, con enfoque hídrico.

El modelo de matriz de identificación de aspectos e impactos a utilizar, consta de 3 componentes principales; componente abiótico donde se tienen en cuenta aspectos como cambios en la calidad físico-química del agua, afectación de la dinámica del agua, emisión de material particulado, emisión de gases, incremento de niveles de ruido y vibraciones, remoción en masa y pérdida del suelo, procesos morfodinámicos, alteraciones de propiedades físico-químicas del suelo; componente biótico donde se contempla la remoción y perdida de cobertura vegetal, modificación del paisaje y la afectación de comunidades faunísticas y el componente social teniendo en cuenta factores como generación de empleo, deterioro a la salud, aumento en el uso de bienes y servicios, y cambio en el uso del suelo.

La identificación se realizará a partir de las observaciones realizadas en campo, las cuales permitirán la adaptación de la matriz modelo a las condiciones específicas de la unidad de producción minera.

Para las unidades de producción minera de oro, se tomará como modelo la matriz usada en el ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ENFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO (2014), la cual se basa en Guías Minero Ambientales de explotación, beneficio y transformación (2002) y fue adaptada a las condiciones de campo (Ver tabla 22 y Tabla 23). Para las unidades de producción minera de Carbón la Tabla 24 y Tabla 25

Tabla 22. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería aurífera artesanal y pequeña escala en Colombia - fase de operación

ACTIVIDAD	IMPACTO		COMPONENTE: ABIOTICO – CAMBIOS EN LA CALIDAD FISICO-QUÍMICA DEL AGUA	ABIOTICO – AFECTACIÓN DE LA DINÁMICA DEL AGUA	ABIOTICO – EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	ABIOTICO – EMISIÓN DE GASES	ABIOTICO – INCREMENTO DE NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIONES	ABIOTICO – REMOCIÓN EN MASA Y PÉRDIDA DEL SUELO	ABIOTICO – PROCESOS MORFODINÁMICOS	ABIOTICO – ALTERACIONES DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO	BIOTICO – REMOSIÓN Y PERDIDA DE COBERTURA VEGETAL	BIOTICO – MODIFICACIÓN DEL PAISAJE	BIOTICO – AFECTACIÓN DE COMUNIDADES FAUNÍSTICAS	SOCIAL – GENERACIÓN DE EMPLEO	SOCIAL – DETERIORO A LA SALUD	SOCIAL – AUMENTO EN EL USO DE BIENES Y SERVICIOS	SOCIAL – CAMBIO EN EL USO DEL SUELO
EXTRACCIÓN	EXTRACCIÓN DEL MINERAL / PERFORACIÓN Y VOLADURA																
	REMOCIÓN DE ESTÉRILES Y DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS																
BENEFICIO	MOLIENDA Y TRITURACIÓN	MOLIENDA EN BARRILES															
		MOLINO DE PISONES															
		MOLINOS CHILENOS															
		MOLINO DE BOLAS															
	CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN EN BATEA															
		CONCENTRACIÓN EN CANALÓN															
		CONCENTRACIÓN EN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO															
		JIG															
		CONCENTRACIÓN EN MESAS DE GOLPE															
	VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES																
	AMALGAMACIÓN																
	CIANURACIÓN																
	DESCARGA DE SEDIMENTOS																
	CALCINACIÓN Y TOSTACIÓN																
	CONSUMO DE AGUA																
OPERACIONES AUXILIARES	MANEJO DE COMBUSTIBLES Y ACEITES																
	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS																

Tabla 23. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería aurífera artesanal y pequeña escala en Colombia - fase de operación

ACTIVIDAD / IMPACTO			COMPONENTE														
			ABIOTICO								BIOTICO			SOCIAL			
			CAMBIOS EN LA CALIDAD FISICO-QUÍMICA DEL AGU	AFECTACIÓN DE LA DINÁMICA DEL AGUA	EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	EMISIÓN DE GASES	INCREMENTO DE NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIONE	REMOCIÓN EN MASA Y PÉRDIDA DEL SUELO	PROCESOS MORFODINÁMICOS	ALTERACIONES DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO	REMOSIÓN Y PERDIDA DE COBERTURA VEGETAL	MODIFICACIÓN DEL PAISAJE	AFECTACIÓN DE COMUNIDADES FAUNÍSTICAS	GENERACIÓN DE EMPLEO	DETERIORO A LA SALUD	AUMENTO EN EL USO DE BIENES Y SERVICIOS	CAMBIO EN EL USO DEL SUELO
EXTRACCIÓN	DESCAPOTE																
	EXTRACCIÓN DEL MINERAL	EXTRACCIÓN DE MINERALES: MÉTODO HIDRAULICO															
		EXTRACCIÓN DE MINERALES: MÉTODO POR DRAGADO															
		MÉTODO POR RETROEXCAVADORAS															
	DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS																
BENEFICIO	TAMIZADO																
	CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN EN BATEA															
		CONCENTRACIÓN EN CANALÓN															
		CONCENTRACIÓN EN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO															
		JIG															
		CONCENTRACIÓN EN MESAS DE GOLPE															
	VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES																
	AMALGAMACIÓN																
	CIANURACIÓN																
	DESCARGA DE SEDIMENTOS																
	CALCINACIÓN Y TOSTACIÓN																
	CONSUMO DE AGUA																
OPERACIONES AUXILIARES	ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES Y ACEITES																
	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS																

Tabla 24. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería de carbón a cielo abierto - fase de operación

ACTIVIDAD / IMPACTO		COMPONENTE																					
		ABIOTICO													BIOTICO		SOCIAL						
		emisión de partículas suspendidas totales	Alteración del patrón de drenaje superficial	Vertimiento con variaciones considerables de pH	vertimientos con altos contenidos de sólidos suspendidos	Vertimientos con contenidos de minerales disueltos	Vertimientos con altos contenidos de materia orgánica	Vertimientos de lixiviados de residuos sólidos	Vertimientos con contenidos de aceites e hidrocarburos	Perdida de suelo por descapote	Deslizamientos/ Desprendimientos	Disposición inadecuada de residuos sólidos	Intervención de áreas sensibles (riberas, ríos, bosques)	Extención de áreas afectadas por la operación	Eliminación de la cubierta vegetal	Intervención de áreas boscosas	Cambio en el nivel de escolaridad	Cambio en la calidad de vida	Pérdida del patrimonio cultural	Cambio de nivel de ingresos	Cambio de nivel de empleo	Artificialización de paisajes
producción	remoción de la vegetación																					
	formación de las pilas de suelo																					
	perforación y voladura																					
	premoción de estériles																					
	implementacion de																					
	arranque y cargue																					
	Transporte interno																					
	formación de pilas de carbón																					
	mantenimiento de maquinaria																					
	tratamiento de efluentes																					

Tabla 25. Identificación de posibles impactos ambientales en la minería de carbón a cielo abierto - fase de operación

ACTIVIDAD / IMPACTO		COMPONENTE																					
		ABIOTICO							BIOTICO		SOCIAL												
		Contaminación fisicoquimico	Aporte de sedimento	Variación de niveles freáticos	Contaminación orgánica	Hundimiento terreno/ subsidencia	Obstrucción de cauces	Movimiento macizo rocoso	Tala arborea	Reducción cobertura	Alteración de paisajes	Aumento capacitación técnica	Demanda de escuela	Aumento riesgos salud	Deterioro condiciones ergonómicas	Demanda de vivienda	Demanda servicios de salud	Aumento accidentalidad	Demanda de equipo de salvamento	Deterioro infraestructura	Demanda servicios públicos	Incremento nivel de empleo	Cambio de nivel de empleo
Producción	Arranque de la mina																						
	cargue																						
	Sostenimiento																						
	Desague																						
	Transporte interno																						
	Descargue-Acopio																						
	Botadero de esteriles																						

8.4 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN MINERA

Caracterizar un proceso consiste en identificar los factores que hacen parte del mismo y que se deben controlar, es por tanto un aspecto básico de la gerencia. La caracterización es una actividad que requiere cuidado, coherencia y consistencia. Razón por la cual, conviene seguir (o diseñar) una metodología que permita plasmar, consultar, relacionar y administrar todos los conocimientos encontrados (ISO, 2008).

En este sentido, para cumplir con los objetivos del presente documento, se presenta una metodología orientada a la evaluación de las operaciones mineras y sus correspondientes plantas de beneficio mineral. Dicha metodología se basa en la recolección de información de campo y su procesamiento con el fin de poder establecer un esquema del proceso extractivo, formular recomendaciones al minero y diagnosticar desde un punto de vista interdisciplinar el impacto que se causa sobre el recurso hídrico.

La recolección de información del proceso de explotación para cada mina se concentra en adquirir datos sobre la unidad de producción que permitan tener un vistazo rápido sobre la misma y hacerse una idea del tamaño de la operación. Así mismo, se dispone una valoración técnica general del proceso de extracción, este trabajo se hace basándose en las directrices y conceptos que plantea la Guía Minero Ambiental de Explotación (MinMinas, 2002). Cabe mencionar que este procedimiento no es una fiscalización minera, sino un propósito de investigación objetivo que pretende complementar la valoración ambiental.

Para que la información se recolecte de manera ordenada y facilitar su entendimiento y análisis se desarrollan 2 instrumentos a usar en campo.

- Planilla de información básica: recoge aspectos generales sobre la ubicación, fuerza de trabajo y condiciones de las minas en cuestión. Permite clasificar y establece comparaciones entre las minas que se estudien. Su diseño se basa en el documento "*PLAN DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE Y PORTUARIA PARA EL DESARROLLO MINERO EN COLOMBIA"* (UPME, 2004). De igual forma se toman apuntes sobre algunos aspectos socioeconómicos que se consideren pertinentes al estudio.

- Formato de valoración técnica minera: Con este se toma nota sobre la forma específica como se ejecutan las actividades de explotación y auxiliares, la maquinaria y equipos utilizados. Así mismo, se toman apuntes sobre los aspectos destacables como serían cercanías a cuerpos de aguas, zonas pobladas, entre otros. Se aplicará uno diferente dependiendo si el tipo de minería es a cielo abierto o subterráneo, por cuanto la condición de cada situación es distinta.

Las tablas 26 y 27 muestran los instrumentos descritos anteriormente. En adición a esto se llevará un registro fotográfico de la bocamina o frente de explotación principal. El formato para la valoración técnica de operaciones subterráneas es idéntico al de operaciones a cielo abierto con la salvedad de que se sustituyen las actividades de riego y mantenimiento de vías por las de ventilación y sostenimiento.

Tabla 26. Plantilla de Información Básica

PLANILLA DE INFORMACIÓN BÁSICA					
Fecha:		Encargado			
Contacto:			CC:		
Características Generales					
Nombre de mina					
Departamento					
Municipio					
Vereda					
Georeferencia:	E:				
	N:				
Tipo de minería:			Área intervenida (Ha):		
Mineral de interés					
Sobre la producción:					
Material removido / escala de tiempo (ton / unidad de tiempo)			Mineral recuperado / escala de tiempo (ton, gr / unidad de tiempo):		
Estéril:	Mena:				
			Frentes activos de trabajo:		
Recursos mineros:			Reservas Probadas:		
Sobre el régimen de trabajo:			**Estimaciones:**		
Días de trabajo al mes:			Horas trabajo/mes:	Productividad (ton/hombre-turno)	
Turnos de trabajo/día:					
Horas de trabajo/ turno:					
Personal trabajo/turno:					
Observaciones:					

Tabla 27. Formato de Valoración Técnica Minera Cielo Abierto

Método de explotación:		
Proceso	**Descripción**	
Preparación y desarrollo		
Arranque		
Cargue		
Transporte		
Almacenamiento		
Disposición de estériles		
Riego de vías		
Mantenimiento de vías		**Observaciones:**
Cierre y abandono		

Para el caso de las plantas de beneficio. El enfoque se hace hacia el registro de los procesos que ejecutan en cada mina o sí es el caso en los entables que se visitan. Se entiende que los procesos de beneficio aplicados al carbón difieren a los del oro. Por lo que tiene sentido analizarlos de manera independiente.

Las herramientas para recolectar la información concerniente a las plantas de beneficio se llaman “Fichas para el proceso de beneficio de…”. Se diseñan tomando en cuenta los procesos de beneficio descritos por el informe *“Cadena del Carbón”* (UPME, 2005) y en la Guía Minero Ambiental 3 Beneficio (MinMinas, 2003). Las tablas 28 y 29 muestran las fichas descritas.

Tabla 28. Ficha para el proceso de beneficio de Carbón

	Tonelas procesadas/dia		Descripción	
Procesos	Lavado			
	Conminuición			
	Mezcla			
	Secado			
Manejo de aguas y residuos				
Esquema general del proceso:				Observaciones:

Consiste en una lista de chequeo sobre las actividades que se efectúen sobre el mineral una vez sale de la mina y antes de ser despachado a los clientes. Así mismo, una casilla primordial sobre el manejo del recurso hídrico, orientada a tomar apuntes sobre buenas prácticas y acciones por corregir.

Tabla 29. Caracterización proceso de beneficio de Oro

Ton procesadas/dia:		Tenor corriente entrada (und de concentración)		Recuperación metalúrgica (%):		Esquema del proceso de beneficio:
Etapas del proceso de beneficio						
Manejo de colas y escorias:						
Observaciones:						

La forma permite registrar las etapas que tenga cada proceso de beneficio en particular. De igual forma, observar el manejo de colas y escorias como punto importante.

La documentación anterior corresponde con la primera etapa del proyecto, a partir de esta se conformará un soporte para el estudio, análisis, toma de decisiones y formulación de resultados conforme los objetivos propuestos.

8.5 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una base de datos computarizada que contiene información espacial. Además, permite manejar, manipular, analizar y representar datos georreferenciados (Cebrián 1988), tomado de Domínguez (2000).

La información cartográfica básica utilizada en el ESTUDIO PARA ANALIZAR LA INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DE CARBÓN Y METALES PRECIOSOS EN LA DISPONIBILIDAD, CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO Y LA PRESENCIA Y

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRAZAS DE MERCURIO EN REGIONES PRIORIZADAS DEL PAÍS; junto con la información temática resultante del proceso de muestreo serán recopiladas y almacenadas en una base de datos geográfica para la manipulación de los datos espaciales y la producción cartográfica.

En función a la implementación de la Base de Datos se derivan dos fases metodológicas para la finalidad del estudio; una primera fase en función a la recopilación de información primaria y una segunda fase basada en el desarrollo de Geodatabase y cartografía:

Fase I

En términos prácticos se hace necesaria la georreferenciación de las 56 minas visitadas; a lo largo de 7 departamentos, siendo 3 departamentos productores de carbón y 4 de oro. Junto con la recopilación de todos los puntos de muestreo respectivos en cada mina visitada para el objeto de estudio.

Por otra parte se adiciona la cartografía base como soporte gráfico en la representación de la información recolectada. Dentro de la cartografía base se encuentra todo el compendio de datos espaciales referentes a límite municipal, red vial, sistema de drenajes, cuerpos de agua, cobertura de la tierra y modelo digital del terreno (MDT), entre otros.

Fase II

Para la realización de la base de datos geográfica se emplea el software ArcGis 10.1 con el fin de estructurar la Geodatabase para editar y administrar la información básica y temática en formato vectorial del estudio que se esté almacenando. Además, con las componentes software e insumo cartográfico se desarrolla la producción cartográfica.

8.6 METODOLOGÍA PARA LA TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

8.6.1 Toma de muestras

Se realizaran conforme los lineamientos establecidos por el IDEAM, y el documento **PTX-002 Toma de Muestras del Laboratorio de toxicología y Gestión Ambiental. Ver Anexo 12.2.**

Este procedimiento de toma de muestra tiene como objetivo definir el procedimiento para la toma y preservación de muestras de aguas, sedimentos, suelos, alimentos y muestras

biológicas de tal manera que se puedan obtener porciones que sean representativas de la matriz ambiental.

Es un procedimiento que está fundamentado conforme los requisitos de la norma ISO NTC IEC 17025:2005 específica para laboratorios de análisis fisicoquímico y biológico ambiental

8.6.2 Análisis de las muestras

Para el análisis de las muestras obtenidas en campo se utilizaran los siguientes procedimientos:

Tabla 30. Métodos para el análisis de las muestras

Parámetro	Volumen mínimo	Recipiente para toma	Preservación	Tiempo de retención	Método
pH *(in situ)*	50 mL	Plástico o vidrio	Analizar inmediatamente	Ninguno	Electrométrico, SM 4500-pH
ACIDEZ	100 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	24 h	Volumétrico, SM 2310
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SSED)	1000 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	7 días	Volumétrico Cono Imhoff, SM2540
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	200 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	7 días	Gravimétrico, secado a 103-105°C, SM2540D
SULFATOS (SO_4)	100 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	28 días	Turbidimétrico, 4500-SO42-E
SULFUROS (S)	100 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	28 días	Método Yodométrcio, SM4500 S2- F
ORTOFOSFATOS (P-PO_4)	100 mL	Plástico	Filtrar inmediatamente y refrigerar	48 horas	Ácido ascórbico, SM 4500-PE
FOSFORO TOTAL	100 mL	Plástico	Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	28 días	Ácido ascórbico, SM 4500-PE
DETERGENTES (SAAM)	500 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	48 horas	Extracción líquido-líquido - espectrofotometría, SM55540 C
GRASA Y ACEITES (GyA)	1000 mL	Vidrio de boca ancha aforado	Adicionar ácido clorhídrico hasta pH 2 ó 2 ml por litro de muestra, cubrir la boca de la botella con papel aluminio antes de poner la tapa y refrigerar|	28 días	Partición, infrarrojo, SM5520C
CLORUROS (Cl)	50 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	28 días	Argentométrico, SM4500Cl-B
CIANURO TOTAL (CN)	100 mL	Vidrio Ámbar	Adicionar NaOH a pH >12, refrigerar a oscuridad	24 días	Volumétrico, 4500 CN-D
NITROGENO AMONIACAL (NH3)	500 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	28 días	Destilación-Volumétrico, SM4500-NH3B, C
NITRATOS (NO_3)	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	28 días	Ultravioleta selectivo - SM4500 NO3- B
NITRITOS (NO_2)	100 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	48 horas	Colorimétrico, 4500-NO2-B
NITROGENO TOTAL	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	28 días	Semi-micro Kjeldahl, SM4500 N-org C

COLOR REAL	500 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	48 horas	Espectrofotométrico - Longitud de onda simple, SM2120
HIDROCARBUROS TOTALES (HTP)	1000 mL	Vidrio Ámbar	Refrigerar	28 días	Extracción Líquido-Líquido - GC-FID
HIDROCARBUROS POLICICLICOS (HAP)	1000 mL	Vidrio Ámbar	Refrigerar	28 días	Extracción Líquido-Líquido - GC-FID
BENCENO, TOLUENO, XILENO (BTX)	1000 mL	Vidrio Ámbar	Refrigerar	28 días	Extracción Líquido-Líquido - GC-MS
COMPUESTOS ORGANICOS HALOGENADOS ADSORBIBLES (AOX)	1000 mL	Vidrio Ámbar	Acidificar a pH < 2 con ácido nítrico, refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la obscuridad	3 días	EPA 1650
FENOLES	1000 mL	Vidrio	Refrigerar a 4 ºC ó Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 (2 ml por litro de muestra)	28 Días	Extracción Líquido-Líquido - GC-MS
DUREZA TOTAL	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	6 meses	Volumétrico EDTA, SM2340C
DUREZA CALCICA	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 y refrigerar	6 meses	Volumétrico EDTA, SM2340C
ALCALINIDAD	200 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	14 días	Volumétrico, SM 2320B
DBO_5	1000 mL	Plástico o vidrio	Refrigerar	48 horas	Modificación Azida, SM 5210B, 4500-O C
DQO	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido sulfúrico concentrado hasta pH 2 (2 ml por litro de muestra) y refrigerar	28 días	Reflujo cerrado y volumetría, SM5220 C
METALES (As, Cd, Zn,Cu,Cr,Fe,Hg,Ni,Pb,)	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	SM3111
Arsénico (As)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	Espectrometría de Absorción atómica - Generación de hidruros, SM3114 A- As
Cadmio (Cd)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Cd
Zinc (Zn)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Zn
Cobre (Cu)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Cu
Cromo (Cr)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Cr
Hierro (Fe)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Fe
Niquel (Ni)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Ni
Plomo (Pb)	100 mL	Plástico	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	FLAAS, SM3111 Pb
MERCURIO TOTAL AGUA	100 mL	Plástico o vidrio	Adicionar ácido nítrico concentrado hasta pH 2 (1 ml por litro de muestra) y refrigerar	6 meses	Absorción atómica por vapor frío, CVAAS, SM 3112 B
MERCURIO TOTAL SUELO	500 g	Bolsa plástica	Refrigeración	6 meses	Análisis por desorción, amalgamación y AA, EPA 7473

MERCURIO TOTAL SEDIMENTO	500 g	Bolsa plástica	Refrigeración	6 meses	Análisis por desorción, amalgamación y AA, EPA 7473
MERCURIO TOTAL BIOTA	-	Bolsa plástica	Refrigeración	6 meses	Análisis por desorción, amalgamación y AA, EPA 7473
BIODISPONIBILIDAD MERCURIO	500 g	Bolsa plástica	Refrigeración	6 meses	Extracción selectiva para evaluar las fracciones biogeoquímicamente relevantes de Hg en suelos y sedimentos. Bloom et al., 2003
METILMERCURIO	500 g	Bolsa plástica	Refrigeración	6 meses	Extracción secuencial y análisis por desorción, amalgamación y AA, EUR 25830 EN - 2013 -- EPA 7473
210 Pb	1 núcleo	Bolsa plástica	-	-	Determinación de Actividad del 210Po medida por espectrometría alfa, Ruiz-Fernández et al., 2009
137Cs	1 núcleo	Bolsa plástica	-	-	Detección gamma HPGe, Ruiz-Fernández et al., 2009
CAUDAL	-	-	-	-	Aforo volumétrico, Vertedero , MÉTODO DE ÁREA –VELOCIDAD, SM2540F

9. CONCLUSIONES

Los resultados reportados en MME y UPME (2014) y UPME (2014) indican grados no determinados de afectación a la escorrentía superficial y a los acuíferos por cuenta de las grandes deficiencias en el manejo y la disposición final de vertimientos mineros y resaltando la necesidad de estimar mediante métodos científicos la incidencia real de la minería sobre el recurso hídrico en áreas priorizadas según la actividad extractiva existente.

Por otro lado, la eficiencia en el uso y el consumo de agua en la industria minera, incluido su consumo energético, requieren soluciones tecnológicas y buenas prácticas para enfrentar los retos del cambio climático que ha comenzado a afectar las principales áreas mineras con la ocurrencia de eventos climáticos extremos y variaciones en la precipitación media anual.

La ejecución de este convenio entre el MME, la UPME y la Universidad de Córdoba permitirá determinar el grado de eficiencia del uso del agua en la industria minera en términos de cantidad, calidad y disposición de efluentes líquidos (vertimientos). Además de conocer cuán comprometida está la industria minera en la protección y el uso eficiente del agua, esta investigación permitirá desarrollar programas dirigidos al ahorro hídrico en los procesos mineros. De esta forma, los resultados finales de esta investigación ofrecerán correctivos enfocados a la gestión de la huella hídrica minera y brinda soportes al cumplimiento de algunas normas relacionadas.

Diferentes entidades del orden nacional habían manifestado públicamente y a través de sus documentos la necesidad de revisar el tema de contaminación del recurso hídrico con vertimientos mineros y de elaborar un documento que muestre soluciones de carácter técnico al manejo de los efluentes mineros (IDEAM, 2010; IDEAM, 2015 b; MASD y PNUD, 2014; MASD y FCV, 2012 y; CGR, 2013)

Los seis departamentos seleccionados para el muestreo representan el 91 % del total acumulado en los últimos 14 años en la producción aurífera nacional y el 53.6 % de la producción carbonera acumulada en los últimos nueve años.

La selección de áreas auríferas para toma de muestras considerando aquellas analizadas en el estudio de la Cadena del Mercurio (MME y UPME, 2014) ofrece continuidad en los análisis específicos de la minería nacional.

La evaluación de la producción histórica en la selección de municipios de interés permite excluir aquellas áreas que por razones externas a la minería han reportado altas producciones mineras al tiempo que muestra las regiones mineras de tradición.

La inclusión del criterio de vigencia del título minero en la selección de las minas a visitar contribuye a dignificar la industria minera y a separar esta industria de las extracciones ilícitas con las que suele confundirse.

El temor de los propietarios mineros a sanciones asociadas con los resultados de los análisis hechos a sus vertimientos junto con la inclusión de múltiples áreas que aún no inician actividades extractivas dentro del listado de títulos mineros en etapa de explotación ofrecido por la ANM han dificultado la selección de minas a visitar y la obtención de permisos de acceso.

De los 11.595 títulos mineros vigentes, 2755 (23.8 %) tienen incluido el oro entre los mineras concedidos y de estas sólo el 14.8 % (408) están en etapa de explotación; mientras que para el caso del carbón existen 1999 títulos vigentes con 697 (34.9 %) en etapa de explotación.

La caída en la producción aurífera chocoana durante 2014 con respecto a 2013 en 3.8 t se compensó parcialmente con un inusitado aumento en la producción de los municipios del pacífico nariñense donde se registraron aumentos de hasta 4247 % con respecto al año anterior.

La clasificación ex profeso para esta investigación de cuatro rangos de minería (subsistencia, pequeña, mediana y gran minería) según capacidad de procesamiento de material minado por unidad de tiempo supera la tendencia a evaluar aspectos no productivos e incluir extensiones de áreas tituladas no intervenidas. En el caso del oro se diferencian las explotaciones de filón de las aluviales.

Por primera vez, la industria extractiva global ha incluido el acceso al agua y la competencia por la demanda dentro de los 10 riesgos más relevantes en la operación minera al impactar directamente en el presupuesto.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la elección de las minas a muestrear se realice directamente en campo, mediante la gestión e interacción con mineros locales, debido a la existencia de títulos en etapa de explotación sin actividades de minado y la negativa de algunos propietarios mineros por el temor a ser sancionado de hallarse valores altos en el análisis de sus efluentes.

11. BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA –ANM. (2015) Títulos minero vigentes: etapa contractual de explotación en el territorio nacional. Reporte gráfico RG-0207-15 del 10 de febrero de 2015. Escala 1:2.000.000. Recuperado en: http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/titulosenexplotacion_10022015.pdf

Banco de la República, Ministerio de Minas y Energía, Minercol, Ingeominas (2004-2011), Servicio Geológico Colombiano (2012 en adelante)

CAMPUZANO, C.P., ROLDÁN, G., GUHL, E. y SANDOVAL, P. Una visión al estado del recurso hídrico en Colombia. En: JIMÉNEZ, B. y GALIZIA, J. (Ed.), Diagnóstico del agua en las Américas. México pp. 195 – 225 Recuperado en: http://www.ianas.org/water/book/colombia.pdf

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA –CGR. (2013) Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2012 -2013. Recuperado en: http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/76600464/informe_medio_ambiente_2012_2013_def_web.pdf/8c07cbcf-1186-4543-a08d-46e5e512a27c

CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA. 2013. Minería en Colombia. Institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos. Vol. 2.

CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA. Minería en Colombia Fundamentos para superar el modelo extractivista. Mayo 2013

CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA. Minería en Colombia: institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos. Vol 2. Pág. 232

Domínguez, J. 2000. Breve introducción a la cartográfica y a los sistemas de información geográfica. Centro de investigaciones energéticas, medio ambientales y tecnológicas. E.D. Clasificacion Doe y Descriptores. Madrid, España.

Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. Centro de Investigación Económica y Social – FEDESARROLLO. Bogotá, mayo 2013.

EY (2014) Bussines risks facing mining and metals 2014 – 2015. p. 55. Recuperado en: http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Business-risks-facing-mining-

and-metals-2014%E2%80%932015/$FILE/EY-Business-risks-facing-mining-and-metals-2014%E2%80%932015.pdf

FEDESARROLLO. 2012. Impacto Socioeconómico de la minería de Colombia. Bogotá. D.C.

IDEAM (2010) Estudio nacional del agua. Recuperado en: http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Red-Nacional-Laboratorios/Documentacin%20en%20Salud%20Ambiental/Estudio%20Nacional%20de%20Agua%20IDEAM,2010.pdf

IDEAM (2015 b) Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Recuperado en: http://www.goodstuffinternational.com/images/PDF/HH_ENA2014.pdf

IDEAM. (2015) Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia (2011 – 2100). Herramientas científicas para la toma de decisiones: Enfoque nacional – departamental. Tercera comunicación nacional de cambio climático. Bogotá. 58 p. Recuperado en: http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf

Impacto de la minería de hecho en Colombia. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz- INDEPAZ. Bogotá, D.C., mayo de 2013

INFORME "PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN SUDAMÉRICA". Anida Yupari. Informe elaborado para la CEPAL, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR, y el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN.

ISO. (2008). Norma Internacional ISO 9001.

JESUS OLIVERO VERBEL. Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana.

Ley N° 1658. Diario oficial 48.853 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 15 de julio de 2013.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE –MADS y FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA –FCV. (2012) Diagnóstico nacional de salud ambiental. Bogotá.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE –MADS y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO –PNUD (2014) Quinto Informe nacional de biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad

Biológica. Bogotá, D.C., Colombia. p.101 Recuperado en: http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/MedioAmbiente/undp-co-informebiodiversidad-2014.pdf

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (2014) Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera del oro: Tomo I. Desarrollado por la Universidad de Córdoba. Recuperado en: http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/cadena_de_mercurio/Cadena_Mercurio_Tomo_I.pdf

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Diagnóstico Y Proyecciones De La Gestión Minero Ambiental Para Las Regiones Auríferas De Colombia. Bogotá, D.C. Febrero De 2002

MINMINAS. (2003). Guía Minero Ambiental 2 Explotación.

MINMINAS. (2003). Guía Minero Ambiental 3 Beneficio.

Sistema de Información Minero Colombiano - SIMEC. Unidad de Planeación Minero Energético – UPME. http://www.simco.gov.co/?TabId=121

Sistema de Información Minero colombiano (SIMCO).2013. Producción y exportaciones de carbón en Colombia, segundo trimestre de 2013.

Survey 2012 Update 2, Survey 2013 Update 1, Survey 201 Update 2 y Survey 2014 Update 2. Thomson Reuters GFMS

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2006, Mercado Nacional e Internacional del Carbón colombiano. 2006.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2012, Cadena del Carbón. 28 p. Bogotá, D.C.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA –UPME. 2014. Estimación de áreas intervenidas, consumo de agua, energía eléctrica y costos de producción en la actividad minera. Desarrollada por la Universidad Industrial de Santander –UIS. Recuperado en: http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/AREAS_INTERVENIDAS.pdf

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO y WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME –WWAP. (2006)

Agua: Una responsabilidad compartida. 2° informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídrico en el mundo. París. p. 550 recuperado en: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/table_contents_es.shtml

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 2010. Valoración Económica Ambiental en la Zona Carbonífera del Cesar que comprende los Municipios de Becerril, Agustín Codazzi, Chiriguaná, El Paso y La Jagua de Ibirico.

UPME. (2004). Plan de infraestructura de transporte y portuaria para el desarrollo minero en Colombia. Caracterización distritos mineros

UPME. (2005). La Cadena del carbón.

UPME. Producción Más Limpia En La Minería Del Oro En Colombia. Mercurio, Cianuro y Otras Sustancias. Unidad de Planeación Minero Energética - 2007

CAPITULO 2. MINERÍA DE ORO Y CARBÓN – ANALISIS DE RESULTADOS

Caracterizar la demanda de agua de cada unidad productiva, calidad de los vertimientos y análisis de la presencia y distribución espacial de trazas de mercurio como consecuencia de la actividad minera, en las minas propuestas, generando una línea base con los siguientes parámetros:

1. En relación con la demanda de agua, para cada una de las minas incluidas dentro de la muestra seleccionada se deberá:

   a) Caracterizar el proceso minero haciendo énfasis en la tecnología utilizada en la extracción y beneficio del mineral y demás procesos relacionados con el proyecto minero que impliquen la utilización del recurso hídrico.
   b) Calcular la demanda de agua requerida en cada proceso del proyecto minero, diferenciando el origen del recurso hídrico y contemplando al menos: cantidad de agua extraída directamente desde fuentes subterráneas o desde fuentes superficiales, así como la proveniente de aguas lluvias, la suministrada por las empresas de acueducto, el agua de reúso o la proveniente desde otras fuentes. Se deberá diferenciar la cantidad de agua utilizada para la atención directa de las necesidades humanas de la utilizada como insumo o materia prima dentro del proceso productivo.
   c) A partir de la información levantada determinar módulos de consumo eficiente de agua para la explotación y beneficio de carbón y metales preciosos, atendiendo a las características propias de cada región objeto del estudio.

2. Con relación a los vertimientos generados, para cada una de las minas incluidas dentro de la muestra seleccionada se deberá:

   Determinar los caudales y características del cuerpo de agua receptor y de los vertimientos generados en los diversos procesos del proyecto minero. Para cada una de las minas evaluadas se deberá caracterizar la calidad del cuerpo de agua receptor antes y después del proyecto minero, así como una caracterización de los vertimientos generados por el proyecto que incluyan al menos los siguientes parámetros contemplados en Resolución MADS 0631 de 2015.

   Para metales preciosos: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables (SSED), Grasas y Aceites, Fenoles , Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Hidrocarburos Totales (HTP), Ortofostatos (P-PO43), Fosforo Total

(P), Nitratos (N-NO3), Nitritos (N-NO2), Nitrógeno Amoniacal (N-NH3), Nitrógeno Total (N), Cianuro Total (CN), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO4 2-), Sulfuros (S2-) Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Acidez Total, Alcalinidad Total, Dureza Calcácica; Dureza Total, Color Real (medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525nm, y 600 nm)

3. Para el caso de la minería de oro con uso de mercurio en sus procesos de beneficio en las áreas priorizadas y seleccionadas en el numera 1, determinar lo siguiente:

   a) Determinar las concentraciones de mercurio en aguas, suelos, sedimentos, aire y biota (plantas y peces) en la zona minera para conocer su afectación ambiental. En suelos, sedimentos y biota se determinara metilmercurio, para conocer la transformación del mercurio.
   b) Determinar la biodisponibilidad y las fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos del área estudiada, para establecer su potencial origen.

4. A partir de la línea base levantada y de los resultados de los estudios LA CADENA DEL MERCURIO CON ENFASIS EN MINERIA AURIFERA COLOMBIANA Y ESTIMACION DEL AREA REALMENTE INTERVENIDA, CONSUMOS DE AGUA Y ENERGIA DE LA MINERIA COLOMBIANA y demás documentación secundaria:

   a) Estimar mediante un modelo estadístico de manera separada: la demanda total del recurso hídrico para minería de metales preciosos y de carbón en los Departamentos analizados y a partir de estos resultados realizar una extrapolación a nivel nacional.
   b) A partir de la información levantada, realizar un análisis del impacto en términos del cambio en la calidad de los cuerpos de agua receptores generado por la actividad minera. Para ello se deberán estimar índices o indicadores que correlacionen la cantidad producida del mineral versus la cantidad de contaminante generada por unidad de producción y analizar el impacto agregado de la producción minera en el cumplimiento de los objetivos de calidad del cuerpo de agua receptor definidos por la autoridad ambiental.
   c) En las zonas seleccionadas para el análisis de distribución espacial de trazas de mercurio: Determinar la evolución temporal del mercurio mediante el análisis de los isotopos en núcleos sedimentarios en tres zonas afectadas por minería.

1. INTRODUCCION

La minería de oro y minería de carbón son sectores que contribuyen al Producto Interno Bruto –PIB del país, sin embargo sus procesos y manejos han sido muy cuestionados desde el punto de vista de la capacidad que tienen estos dos sectores para afectar el entorno y ambiente de las comunidades que se encuentran en su área de influencia, en especial el recurso hídrico.

Por este motivo, el Ministerio de Minas y Energías de Colombia, quien, de acuerdo al Artículo 2 del Decreto 0381 del 16 de febrero de 2012, además de las funciones definidas en la Constitución Política, en el artículo 59 de la Ley 489 de 1998 y en las demás disposiciones legales vigentes, tiene como funciones: Formular, adoptar, dirigir y coordinar la política nacional en materia de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, beneficio, transformación y distribución de minerales, hidrocarburos y biocombustibles, Formular políticas orientadas a que las actividades que desarrollen las empresas del sector minero-energético garanticen el desarrollo sostenible de los recursos naturales no renovables, entre otras y por otro lado, La Unidad de Planeación Minero Energética UPME que es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto número 1258 de Junio 17 de 2013; quien dentro de sus funciones y objetivos tiene el de “Gestionar y administrar de forma integral la información de los sectores minero energético para apoyar la toma de decisiones de los agentes públicos y privados”; han decidido establecer la incidencia real actual de los sectores involucrados en este estudio sobre la afectación en la demanda y contaminación del recurso hídrico.

En este orden de ideas, las fuentes hídricas, se estima que son afectadas desde dos puntos de vistas, desde la perspectiva de la demanda y alto consumo o uso en las actividades mineras, y desde la perspectiva de que son contaminadas estas mismas fuentes con los vertimientos generado en el proceso de extracción y beneficio de los minerales. Como se mencionó en el documento selección de áreas, la unidad territorial utilizada es el distrito minero entendido según la definición indicada en el Glosario Técnico Minero (Minminas & Ingeominas, 2003)[66] y adoptado para todos los efectos por el Decreto 2191 de 2003.

[66] Minminas, & Ingeominas. (2003). Glosario técnico minero. Informe técnico, Ministerio de Minas y Energía, en coordinación con el Servicio Geológico Colombiano (anterior Ingeominas), Bogotá, D.C.

Para este proyecto se consideraron los grupos de municipios contiguos que registran producción minera en los reportes oficiales de producción nacional. En cuanto a los nombres utilizados se tomaron aquellos expuestos en UPME (2005) y documentos posteriores como DNP (2005)[67], DNP (2007)[68] y UPME & Muñoz (2007)[69] entre otros.

[67] DNP. (2005). *Conexión de los distritos carboníferos a la red férrea nacional - Lineamientos de política (Documento CONPES 3394).* Departamento Nacional de Planeación -DNP, Bogotá, D.C.
[68] DNP. (2007). *Política de Estado para el Pacífico colombiano (Documento CONPES 3491).* Departamento Nacional de Planeación -DNP, Bogotá, D.C.
[69] UPME, & Muñoz, J. (2007). *Diseño de agenda para el desarrollo productivo y competitivo del distrito minero Zipa - Samacá. Informe final.* Informe de consultoría preparado por Jineth M. Muñoz para la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Bogotá.

2. MINERÍA DE METALES PRECIOSOS

En el presente estudios se realizaron visitas a 41 unidades productivas mineras (UPM) distribuidas en 5 departamentos del país, dentro de los distritos mineros de Distrito minero del Nordeste antioqueño, Distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar), Distrito minero del Tambo (Cauca), Distrito minero de Marmato (Caldas) y Distrito minero de Istmina (Choco) de acuerdo con la UPME (UPME, 2005)

A continuación se presenta una síntesis sobre la descripción de cada uno de los departamentos, municipios y cuencas hidrográficas sobre los cuales influencia cada uno de las UPM seleccionadas

Distrito minero del Nordeste antioqueño

Antioquia se divide en 9 subregiones las cuales son: Bajo Cauca, Magdalena Medio, Nordeste, Norte, Occidente, Oriente, Suroeste, Urabá y Valle de Aburrá[70] en las que se distribuyen los 125 municipios del departamento. El perímetro aproximado del departamento es de 1906 km y cuenta con una superficie de 63000 km^2 aproximadamente[71]; el departamento es atravesado por la Cordillera Occidental y la Cordillera Central[72]. Debido a la situación geográfica, el Departamento está comprendido dentro del régimen de clima ecuatorial, con oscilaciones pequeñas de temperatura durante el año, y dos máximas de lluvia[73].

Las actividades económicas predominantes en el departamento son: prestación de servicios, industrial, comercio, agricultura, ganadería y minería.[74] Antioquia ha sido por tradición una zona de actividad minera[75]. El principal producto minero de Antioquia es el oro, en varias de sus zonas mineras como lo son Amalfi, Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre, Frontino, Abriaquí, Caramanta y Cáceres se pueden encontrar yacimientos de oro. En menor proporción, se encuentra plata y platino[76].

[70] Aspectos generales de Antioquia. tomado a partir de http://proantioquia.org.co/web/index.php/quienes-somos/departamento-de-antioquia.
[71] Acevedo Latorre, Eduardo (1957) Panorama geoeconómico del departamento de antioquia Economia y estadística.
[72] Aguirre Agudelo, Raimundo, (1948).Op. cit.
[73] Espinal, L. S. (2012). Geografía ecológica del departamento de Antioquia (Zonas de vida (formaciones vegetales) del departamento de Antioquia).Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 38(1), 5-106.
[74] Aspectos generales de Antioquia. tomado a partir de http://proantioquia.org.co/web/index.php/quienes-somos/departamento-de-antioquia.
[75] BIRD (Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia), (2008). Potencial Minero Antioqueño, Visión General.
[76] Ibid.

En el Departamento de Antioquia se visitaron UPM que se encuentran ubicados en los municipios de Zaragoza y Segovia, pertenecientes al distrito minero Nordeste Antioqueño, los cuales se caracterizan por presentar un clima cálido y húmedo con temperaturas mayores de 24°C, una precipitación en los 3000 y 7000 mm por año y se encuentran ubicados en unidad biogeográfica Provincia del Choco-Magdalena. En el municipio de Zaragoza tiene una cobertura de comunidades vegetales dominadas por árboles de altura promedio superior a 5 m y con densidad de copas superior al 70% con una extensión superior a las 50 ha, incluye bosques densos, fragmentados, de galería o riparios, y manglares.[77] En Segovia presenta coberturas de especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas, pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o en rastrojados. Pertenecen a la Cuenca del Río Nechi, en el área hidrográfica Magdalena- Cauca.[78]

Esta área hidrogeografica esta tiene una oferta total año medio de agua azul de 263131,3 Mm^3/año y una oferta disponible año medio de agua azul de 140981,0 Mm^3/año, se estima que tiene una disponibilidad de agua verde de 272254,0 Mm^3/año, con una HH verde agrícola de 37262,62 Mm^3, HH Verde Pecuaria de 132454,59 Mm^3 y HH Azul agrícola de 4604,47 Mm^3 [79] [80].

La zona hidrográfica del Rio Nechí perteneciente al área hidrográfica mencionada, se estima que tiene una disponibilidad de agua verde de 18579,69 Mm^3/año, con una HH Verde Agrícola de Nechí 761,4 Mm^3, HH Verde Pecuaria de 6281,3 Mm^3 y HH Azul agrícola de 12,4 Mm^3 [81] [82],

La zona hidrográfica Nechí, en el nordeste de Antioquía, presenta escorrentías de 1815 mm y rendimiento por encima de 70 l/s/km^2, presenta un índice de aridez menor a 0,15 lo cual indica que es una zona hidrográfica con altos excedentes de agua; esta sub-zona hidrográfica tiene un caudal año medio de 841 m^3/s y una oferta anual año promedio de 11404 Mm^3 [83].

[77] Instituto Geográfico Agustín Codazzi & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" (2008).
[78] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2002)
[79] IDEAM (2015). Estudio nacional del agua, 2014.
[80] CTA; GSI-LAC; COSUDE; IDEAM, 2015. Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Medellín, Colombia.
[81] IDEAM (2015). Op. Cit.
[82]CTA; GSI-LAC; COSUDE; IDEAM, 2015. Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Medellín, Colombia..
[83] IDEAM (2015). Op. Cit.

Con respecto a la demanda del recurso hídrico en el área hidrográfica del magdalena cauca, el sector minero ejerce las mayores presiones por uso de agua con un porcentaje de 1,6% (322,18 Mm^3) de la demanda total en la cuenca, en específico se puede encontrar mayor presión en la sub-zona del rio Bajo Nechí[84].

El municipio de Zaragoza se destacan las cuencas de los ríos Porce, Nechí, Tiguí, Pocuné y Bagre y las micro-cuencas más importantes son la Quebrada La Ocá, La Balsita, Los Ángeles, Juan Vara, La Temperatura y San Juan[85]. De los seis ríos y sesenta quebradas registrados en la región 94% están contaminadas y con alto grado de sedimentación por la explotación irracional de la minería, causando daños ecológicos de trascendencia e inundaciones en época invernal, destacándose la quebrada La Oca que inunda una parte considerable del área urbana[86].

En relación a la calidad de agua para el municipio de Zaragoza, la autoridad ambiental encargada de la zona ha estipulado metas de calidad de agua en los tramos de los ríos dentro de su jurisdicción, de esta manera se tiene para la quebrada Juan Vara, una de las principales receptora del municipio, las siguientes metas (Metas a 2018)[87] (Tabla 31).

Tabla 31. Meta de calidad Quebrada Juan Vara (2007- 2019).

CUENCA	CUENCA MAYOR	MUNICIPIO	OBJETIVO DE CALIDAD DBO5 mg/l	OBJETIVO DE CALIDAD SST mg/l
Quebrada Juan Vara	Rio Cauca	Zaragoza	9,16	10,09

Fuente: Resolución 9503 de 2007.

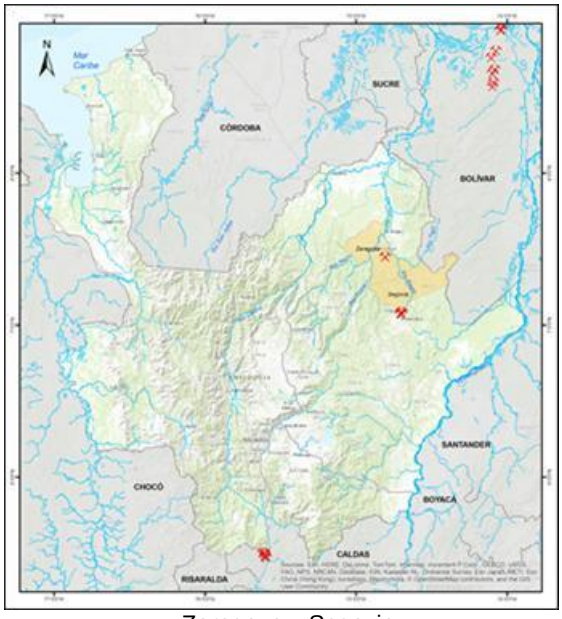
En relación a la calidad de agua para el municipio se Segovia, la autoridad ambiental encargada de la zona ha estipulado metas de calidad de agua en los tramos de los ríos dentro de su jurisdicción, de esta manera se tiene para la quebrada la Cianurada, principal receptora del municipio, las siguientes metas (Metas a 2018) (Tabla 32).

[84] IDEAM (2015). Estudio nacional del agua, 2014.
[85] CORANTIOQUIA (2004). Plan Maestro De Acueducto Y Alcantarillado Del Municipio De Zaragoza
[86] Ibíd.
[87] CORANTIOQUIA (2006).Objetivos de Calidad de corrientes en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. Base para un Plan de Ordenación y Manejo del Recurso Hídrico.

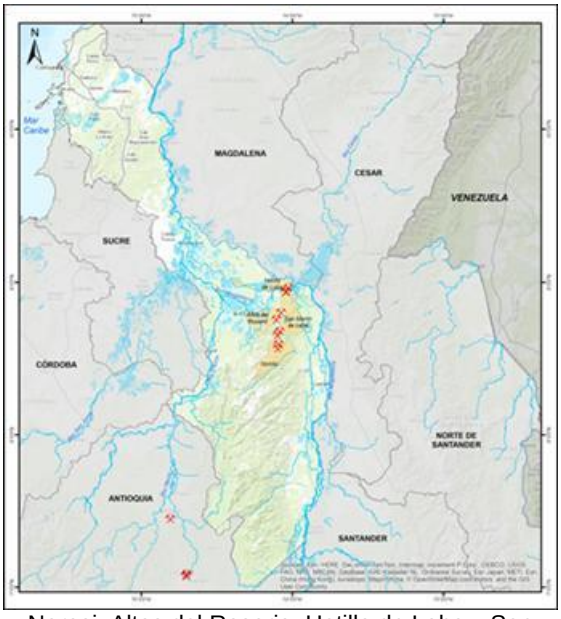
Tabla 32. Meta Global de calidad- Quebrada La Cianurada[88].

CUENCA	Línea Base DBO5 (kg/año)	Línea Base SST (Kg/año)	Meta DBO5 (Kg/año)	Metas SST (Kg/año)
Q. La Cianurada	885.563	*80.542.526*	*894.566*	*6.595.390*

Ilustración 1. Municipios seleccionados en los distritos de Nordeste antioqueño y San Martin de Loba



Zaragoza y Segovia



Norosi, Altos del Rosario, Hatillo de Loba y San Martin de Loba

Distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)

En el departamento de Bolívar se visitaron UPM que hacen parte de los municipios de San Martín de Loba, Norosí, Altos del Rosario y Hatillo de Loba, los cuales se caracterizan por presentar un clima cálido y húmedo con temperaturas mayores de 24°C, una precipitación entre los 2001 y 3000 mm por año y se encuentran ubicados en unidad biogeográfica Provincia del Choco-Magdalena. El municipio de San Martín de Loba y Altos del Rosario tiene una vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas. Se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano, mientras en los municipios

[88] CORANTIOQUIA. Acuerdo 441 de 2013 y Acuerdo 445 de 2014

de Norosí y Hatillo de Loba se presenta coberturas de especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas. Pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados. Los municipios en estudio exhiben un bioma de Bosque Humedo Tropical, característico de climas cálido seco hasta templado muy húmedo; Valles, Planicies, Piedemontes, Lomeríos; excesivos a imperfectos drenados en el Magdalena y Caribe.

Los municipios San Martín de Loba, Norosí y Altos del Rosario pertenecen a la Cuenca del Medio Magdalena y a la zona hidrogeológica del Valle inferior del Magdalena. Mientras Hatillo de Loba hace parte de la cuenca del Bajo Magdalena, pero a la misma zona hidrogeológica del Valle inferior del Magdalena.

El distrito minero de San Martín de Loba comprende la actividad minera aurífera registrada en el municipio de interés, San Martín de Loba, en el departamento de Bolívar. Aunque los municipios de Norosí, Altos del Rosario y Hatillo de Loba, no pertenecen a este distrito minero, fueron tomados para el estudio, al considerarse representativa la actividad minera desarrollada actualmente.

En este distrito predominan los yacimientos auríferos de tipo filoniano, se encuentran dentro de las rocas intrusivas que afloran en la serranía de San Lucas. Los filones están constituidos por cuarzo con pirita, esfalerita, galena, y sulfosales de plata y el oro se encuentra libre y asociado a la estructura de los sulfuros. La minería de este distrito se realiza en yacimientos este tipo, principalmente en los municipios de San Martín de Loba.

El índice de aridez (IA) para los municipios de San Martín de Loba, Norosí y Altos del Rosario es de Moderado a excedente de agua (0,20 – 0,29). Mientras que para Hatillo de Loba presenta una variabilidad entre moderado (0,30- 0,39) a moderado a excedente de agua (0,20 – 0,29). El Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) para todos los municipios de interés, es de retención Alta (0,75 – 0,85). La Oferta hídrica varía dependiendo de la subzona hidrográfica, en el Medio Magdalena, en año medio, se tiene un caudal de 2667 m^3/s y una oferta anual de 84112 Mm^3, al mismo tiempo para año seco, se resume un caudal de 1232 m^3/s y una oferta anual de 38839 Mm^3.

Para el Bajo Magdalena, se calcula en año medio, caudal de 406 m^3/s y una oferta anual de 12793 Mm^3, al mismo tiempo para año seco, caudal de 192 m^3/s y una oferta anual de 6062 Mm^3.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), muestra una baja condición de calidad superficial (ICA mínimo) en el Medio Magdalena, reflejada en los valores altos en la DQO y los SST, afectados por la actividad económica asentada. Al igual que en el Bajo Magdalena, donde las corrientes San Jorge, Cauca y Magdalena, pertenecientes a las Subzona Hidrográfica

Bajo Magdalena entre el banco y El plato, muestra una afectación en su estado debido a ganadería, vertimientos municipales y minería de oro.

Las cuencas del Medio y Bajo Magdalena corresponden al área hidrográfica del Magdalena- Cauca, donde para el departamento de Bolívar se tienen dos estaciones con el de realizar mediciones del régimen hidrológico en las dos temporadas del año, determinadas por las condiciones climáticas. Antes de los municipios de estudio, se tiene la estación Regidor, el caudal medio anual es de 4.333m^3/s. La tendencia del régimen bimodal se mantiene, siendo noviembre el mes de más alto valor de caudal, con 864m^3/s. Después de recibir los aportes de los ríos Cauca y Cesar, el río Magdalena en su parte baja muestra un régimen bimodal no tan marcado como en el Medio Magdalena, identificados en la estación Calamar, ubicada después de los municipios de estudio, donde los valores máximos del primer semestre del año se encuentran en junio, con 8.400m^3/s, y en el segundo semestre los meses húmedos son noviembre y diciembre, con valores de 10.300m^3/s.

El área hidrográfica Magdalena – Cauca soporta las mayores presiones en todos los sectores, además de ser la segunda con menor oferta disponible de agua para satisfacer las necesidades actuales. La estimación de huella hídrica azul del sector de generación de energía, se encuentra concentrada en esta área hidrográfica. Mientras que la huella hídrica azul del sector minero se concentró únicamente en el proceso de extracción de petróleo, donde el subsector minero no fue incluido, a causa de la carencia de información y de la poca disponibilidad de la existente, lo cual no implica que tenga un impacto poco representativo a nivel nacional en términos de agua azul.

Distrito minero del Tambo (Cauca)

En el departamento de Cauca se visitaron UPM que se encuentran ubicadas en los municipios de Suarez, Buenos Aires, El Tambo y Rosas, los cuales se caracterizan por presentar un clima templado y frío, con temperaturas entre 18 y 24°C, una precipitación en los 2001 y 7000 mm por año, ubicados en la unidad biogeográfica Provincia Norandina[89]. Los municipios de Suarez y Buenos Aires tienen una cobertura de especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas que pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados y una cobertura característica por pertenecer a aguas continentales artificiales (embalses o represas), pertenecientes a la cuenca hidrográfica del Alto Cauca[90]. Los municipios del Tambo y

[89] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto Alexander Von Humbolt, (2008)
[90] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto Alexander Von Humbolt, (2008)

Rosas presentan cobertura de vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, estos dos municipios pertenecen a la cuenca hidrográfica del Alto Cauca y Patía respectivamente[91].

Los municipios del Tambo, Buenos Aires y Suarez pertenecen al Distrito minero El Tambo – Dovio, donde se caracterizan los productos mineros de Caliza, materiales de construcción, carbón, oro, plata, platino y otros[92].

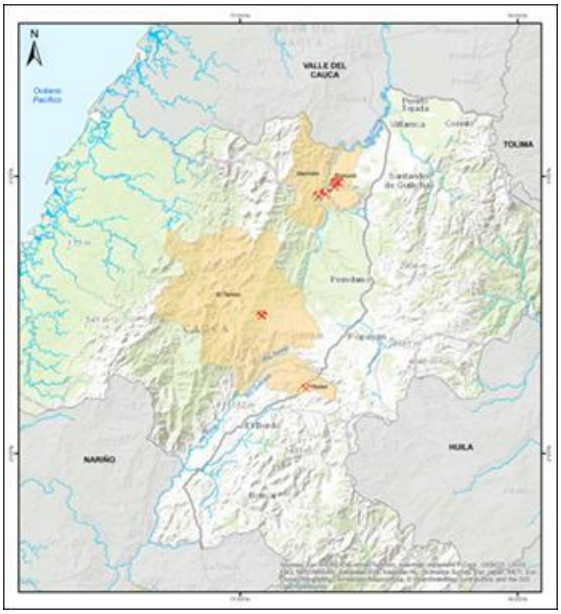
De acuerdo a las características de los municipios estudiados, se debe entender el manejo que se da a las cuencas pertenecientes al área de estudio y analizar su comportamiento. De tal manera se tiene que el régimen hidrológico en la cuenca alta río Cauca desde su nacimiento a una altura 2.800 msnm es monomodal, observado en la estación Puente Aragón, con caudales máximos en julio del orden de los 16 m^3/s. En inmediaciones de Popayán, aguas arriba del embalse de Salvajina, en la estación Julumito, el régimen hidrológico se mantiene monomodal, aunque en septiembre se pueden encontrar leves ascensos en los caudales respecto de sus meses precedentes[93].

La cuenca del rio Patía específicamente en la estación Puente Pusmeo, presenta los caudales máximos entre octubre y enero con valores que pueden superar los 400 m^3/s y la época de estiaje es de junio a septiembre, con un valor mínimo de 154 m^3/s[94].

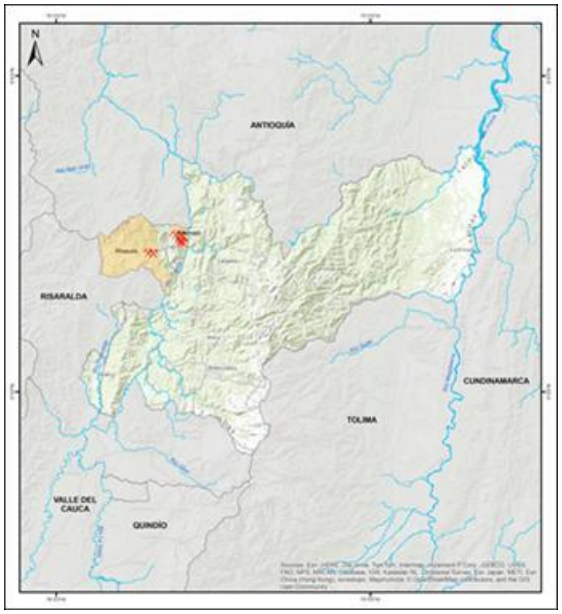
Teniendo en cuenta el estudio sobre Huella Hídrica en el país, *"el área hidrográfica (AH) Magdalena – Cauca, perteneciente al área de estudio, soporta las mayores presiones en todos los sectores analizados (Agrícola, Pecuario) debido a que tiene los principales centros poblados (Bogotá, Medellín) los conglomerados industriales más importantes, los embalses para la generación de energía, el abastecimiento doméstico y también concentra las actividades agrícolas. Esto lleva a pensar en la necesidad de potenciar el desarrollo de actividades económicas con criterios de sostenibilidad en otras AH para mejorar las condiciones sociales y económicas. Teniendo en cuenta, además, que el AH Magdalena–Cauca es la segunda con menor oferta disponible de agua para satisfacer las necesidades actuales, lo que a futuro implicaría mayores desafíos, en especial, a escala de subzona hidrográfica"*[95]. De igual forma esta problemática se puede ver reflejada en el sector minero, por la alta demanda hídrica, poca oferta y por las condiciones del área hidrográfica mencionadas anteriormente.

[91] Ibíd.
[92] UPME, Distritos Mineros: Exportaciones e infraestructura de transporte, (2005)
[93] Estudio Nacional del Agua. p. 57. (ENA),(2014)
[94] Ibíd. p.60.
[95] IDEAM, Evaluación Multisectorial de la Huella Hidrica en Colombia, (2015)

Ilustración 2. Municipios seleccionados en los distritos mineros del Tambo y el de Marmato



Buenos Aires, El Tambo, Rosas y Suarez



Marmato y Río Sucio

Distrito minero de Marmato (Caldas)

En el departamento de Caldas las UPM se seleccionaron dentro de los municipios de Marmato y Rio sucio. Esta zona se caracteriza por su clima templado húmedo con temperatura entre los 18°C y 24°C y precipitaciones entre 2000 y 3000 mm/año pertenecientes a la provincia de Normandia. Su cobertura vegetal predominante son los pastos y cultivos anuales y transitorios. Pertenecen a la cuenca hidrográfica del Medio Cauca, aunque una de las minas de rio Sucio pertenece a la cuenca del Alto Cauca.[96] Y las dos pertenecen al área hidrográfica Magdalena-Cauca.

La cuenca Magdalena-Cauca tiene un régimen hidrológico en gran medida determinado por la diversidad del sistema orográfico y las condiciones climáticas que favorecen una variabilidad espacial y temporal, marcada principalmente por el desplazamiento de la zona de confluencia intertropical. Adicionalmente, en esta área se observa la mayor

[96] IGAC, 2012. INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT, 2008. INGEOMINAS 2012. IDEAM, 2006.

influencia sobre el régimen de estructuras hidráulicas y las actividades humanas de los principales centros poblados de Colombia. En la parte baja y media de la macrocuenca se aprecian grandes planicies de inundación que se destacan por las interacciones de complejos cenagosos con los ríos principales que allí discurren. Dadas estas condiciones, el análisis del régimen hidrológico respecto de esta área hidrográfica se puede indicar en grandes regiones: Alto, Medio y Bajo Magdalena; y Alto, Medio y Bajo Cauca.

Colombia ha sido reconocida por su abundante oferta hídrica, pero, en términos hidrológicos el territorio nacional no es homogéneo, las cinco áreas hidrográficas del país albergan sensibles diferencias que repercuten en la vulnerabilidad tanto del sistema natural como de la estructura socioeconómica. De acuerdo con la metodología expuesta, se evaluó la oferta hídrica sobre el territorio nacional a partir del balance hídrico anual y se validó la información estimada con los valores de caudal observados en las estaciones hidrológicas de referencia para este estudio. Las mejores correlaciones se encontraron en las estaciones localizadas en la cuenca del río Cauca, el Bajo Magdalena, el Cagúan, el Meta y el área hidrográfica de Amazonas, en las cuales el balance de valores multianuales evaluado bajo la metodología descrita representa adecuadamente la escorrentía anual multianual.[97]

Tabla 33. Distribución de la oferta hídrica y caudales por áreas hidrográficas (Magdalena-Cauca)

Área hidrográfica	Oferta total (Mm^3)	Caudal (m^3 /s)	Porcentaje de la oferta
Magdalena - Cauca	271.049	8.595	13,5

Fuente: Modificada del ENA, 2014

El documento Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia; en su capítulo 4. Evaluación multisectorial de la huella hídrica hace referencia al área hidrográfica Magdalena-Cauca con la siguiente información:

Huella Hídrica Azul (HHA): Es cuantificada mediante la estimación del volumen del agua asociada a una extracción o retención de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer el requerimiento hídrico de un proceso antrópico y que no retorna a la cuenca de origen. La huella hídrica azul está presente en el sector agrícola como riego, y en todos los otros sectores, como la parte del agua usada que no retorna a la cuenca.

[97] IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas. ISBN: 978-958-8067-70-4

La evaluación ambiental de la huella hídrica azul en una cuenca se basa en la comparación entre la HHA multisectorial —que refleja el agua demandada (extraída del sistema) y no retornada— y la disponibilidad de agua superficial a nivel de cuenca. En las unidades de análisis donde la HHA multisectorial es mayor que la disponibilidad de agua superficial (oferta), se presenta insostenibilidad para la HHA; esto significa que la oferta de agua superficial no satisface los consumos de agua de los sectores para esa unidad de análisis.

Tabla 34. Oferta total y disponible de agua azul por área hidrográfica

Área hidrográfica	Oferta total año medio (Millones de m^3/año)	Porcentaje Oferta total año medio (%)	Oferta disponible año medio (Millones de m^3/año)	Porcentaje Oferta total año medio (%)
Magdalena - Cauca	263.131,3	13,4	140.981,3	12,5

Fuente: Evaluación multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia

Huella Hídrica Verde (HHV): Hace referencia al agua almacenada en el suelo, y se cuantifica mediante la estimación del agua evapotranspirada por la vegetación asociada a un proceso antrópico (cultivos) que no tiene como origen el agua de riego (agricultura en secano). La huella hídrica verde permite una aproximación numérica a la competencia del sector agropecuario y los ecosistemas naturales a causa de la ampliación de la frontera agropecuaria.

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica verde en una cuenca se basa en la comparación entre la HHV multisectorial y la disponibilidad de agua verde (DAV) a nivel de cuenca. Si se consume más de lo que se ha determinado como disponible para uso humano o para una misma unidad geográfica, se declara que esta huella hídrica no es sostenible. La premisa básica aquí consiste en que no toda el agua verde presente en un área determinada se encuentra disponible para usos productivos, pues una parte debe dejarse para el ambiente y otra no se puede hacer productiva por razones físicas, como la topografía o los asentamientos urbanos.[98]

[98] IDEAM, Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Medellín. 2015. 170 páginas.

Tabla 35. Disponibilidad de agua verde por área hidrográfica según los cálculos y suposiciones en este estudio

Área Hidrográfica	DAV (Millones de m^3/año)	Porcentaje del total nacional (%)
Magdalena–Cauca	272.254,0	22,3

Fuente: Evaluación multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia

Distrito minero de Istmina

El distrito minero de Istminas, y se le adiciona los municipio de Río Quito y Novita a este según indicación de (Minminas &Ingeominas, 2003, pág.52) que cobija el departamento de Choco, cuenta con los ríos Atrato y San Juan, que reciben los vertimientos de las unidades mineras de la zona. Estas cuencas tiene caudales de 1022 y 1300 m^3/s, respectivamente, y reciben los vertimientos de las unidades de producción minera (UPM) visitadas (CODECHOCO, 2007)[99].

En el Departamento de Choco se visitaron UPM ubicadas en los municipios de Rio Quito, Condoto y Novita, los cuales se encuentra ubicados en la unidad biogeográfica de la Provincia del Choco-Magdalena (Humbolt, 2008)[100] (IGAC, 2008)[101]; y hacen parte de hidrogeología del Choco, donde se caracterizan los ambientes sedimentarios y vulcano clástico con buenas posibilidades hidrogeológicas (IDEAM, 2002)[102]. El municipio de Rio Quito posee un clima Cálido muy húmedo, con precipitaciones ente 3.001 - 7.001 mm/año; se observa Vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano (IGAC, 2008)[103]; pertenece a la cuenca hidrológica del Río Atrato, su hidrogeología es de Choco, donde se caracterizan los ambientes sedimentarios y vulcano clástico con buenas posibilidades hidrogeológicas (IDEAM, 2002)[104]. En el municipio de Novita se presenta un clima Cálido Pluvial, con precipitaciones mayores de 7.001 mm/año, su vegetación es de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, se encuentran rastrojos y cobertura vegetal (IGAC, 2008)[105]; pertenece a la

[99] Información suministrada por CODECHOCO, mediciones realizadas en el periodo comprendido entre Ene a Dic de 2007
[100] IGAC, INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT (2008).
[101] Ibíd.
[102] Instituto De Hidrología, M. y.–I. (2002).
[103] IGAC. Op. Cit.
[104] Instituto De Hidrología, M. y.–I. (2002).
[105] IGAC. (2008).

cuenca hidrológica del Río San Juan. El municipio de Condoto posee un clima Cálido Pluvial, con precipitaciones mayores de 7.001 mm/año; tiene una cobertura de especies vegetales dominadas por arboles de altura promedio superior a 5 m y con densidad de copas superior al 70% con una extensión superior a las 50 ha, que incluye bosques densos, fragmentados, de galería o riparios, y manglares (IGAC, 2008)[106]; hace parte de la cuenca del Río San Juan.

En las unidades de producción minera (UPM) visitadas en el municipio de Rio Quito, estas descargan sus aguas directamente sobre sobre el rio Quito. Este hace parte de la cuenca media del rio Atrato y de la subzona del caribe; se caracterizar por recibir una de las mayores presiones del sector minero por el uso del agua. Las UPM objeto de estudios, de los municipios de rio quito y novita, dentro de las cuales se encuentra los ríos Quito y Tamana, respectivamente, hacen parte de las subzonas con mayor afectación por vertimientos de mercurio asociados al beneficio de oro y con altas presiones por carga de vertimiento de mercurio (ENA, 2014)[107]. Para las UPM estudiadas en el municipio de Novita, los efluentes del proceso minero son vertidos a la quebrada Aguas Claras. Esta descarga sus aguas sobre el río Tamaná, que se compone de rocas volcánicas (IIAP, 2010). El río Condoto es uno de los principales afluentes del río San Juan. La cantidad anual de mercurio vertida al río desde las explotaciones mineras (estimada entre 200 y 1000 kg/año con base en la producción local de oro y platino) (CODECHOCO, 2008).

Algunas de las características más importantes de los cuerpos de agua que reciben los vertimientos de las UPM visitadas en el departamento de choco se presentan en las tablas 36, 37 y 38. En cuanto a la huella hídrica para el sector minero y específicamente para el departamento de choco no se encontró información bibliográfica que permitiera conocer este factor.

[106] Ibíd.
[107] IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., (2015). 496 páginas.

Tabla 36. Valores por subzona de oferta y calidad del agua

Nombre sub zona hidrográfica	Área (km²)	Oferta total		Oferta disponible		Caudal		Rendimiento		Escorrentía		DBO5 (t/año)	DQO_DBO (t/año)	SST (t/año)
		Año medio (Mm³)	Año seco (Mm³)	Año medio (Mm³)	Año seco (Mm³)	Año medio (m³/s)	Año seco (m³/s)	Año medio (l/s/Km²)	Año seco (l/s/Km²)	Año medio (mm)	Año seco (mm)			
Río Tamaná y otros Directos San Juan	2826	16961	7017	6905	2857	537,8	222,5	190	13	6001	2483	276	306	599
Alto Atrato	1668	9650	4151	4408	1896	306,0	131,6	183	14	5786	2489	152	165	324
Quito	1817	10383	6184	5581	3324	329,3	196,1	181	19	5716	3404	241	267	522
Río San Juan Alto	2054	10221	4418	5002	2162	324,1	140,1	158	14	4976	2151	560	594	1193

Fuente: ENA 2014

Tabla 37. Indicadores por subzona hidrográfica

Nombre	Índice de retención y regulación hídrica		Índice de regulación hídrica año medio		Índice de uso de agua año seco	Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico	Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua año medio		Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua año seco		Índice de presión hídrica al ecosistema		Índice de agua no retornada a la cuenca		Índice de eficiencia en el uso del agua	
	Valor	Categ.	Valor	Categ.	Valor	Categ.	Valor	Categ	Valor	Categ	Valor	Categ	Valor	Categ	Valor	Categ
Río Tamaná y otros Directos San Juan	75,0%	Moderada	0,44	Muy bajo	1,06	Bajo Baja	1,0	Muy baja	1,2	Muy baja	0,022	Muy bajo	0,000	Muy bajo	0,013	Muy bajo
Alto Atrato	76,5%	Alta	0,09	Muy bajo	0,21	Muy bajo Muy baja	1,0	Muy baja	1,0	Muy baja	0,037	Muy bajo	0,000	Muy bajo	0,066	Muy bajo
Río Quito	74,7%	Moderada	0,66	Muy bajo	1,11	Bajo Baja	1,0	Muy baja	1,0	Muy baja	0,014	Muy bajo	0,000	Muy bajo	0,011	Muy bajo
Río San Juan Alto	77,6%	Alta	0,52	Muy bajo	1,21	Bajo Muy baja	1,2	Muy baja	2,0	Muy baja	0,072	Muy bajo	0,000	Muy bajo	0,020	Muy bajo

Fuente: ENA 2014

Tabla 38. Resultado análisis integrado por subzonas

NOMBRE	ÁREA (km²)	Producción sedimentos	Análisis de variabilidad de la oferta hídrica	Análisis del recurso hídrico por presiones antrópicas, de demanda y variabilidad	Categorización de subzonas por evaluación integrada
Río Tamaná y otros Directos San Juan	2826	Media	Baja	Media	Baja
Alto Atrato	1668	Media	Baja	Baja	Baja
Río Quito	1817	Baja	Baja	Media	Baja
Río San Juan Alto	2054	Media	Baja	Media	Baja

Fuente: ENA 2014

Ilustración 3. Municipios seleccionados en el distrito minero de Istmina

Condoto, Novita y Rio Sucio

2.1 DEMANDA HÍDRICA GENERAL DE LAS MINAS AURÍFERAS VISITADAS

Para el análisis de demanda se consideró el agua usada y la consumida en ocho procesos diferenciados para la minería de metales preciosos: 1) conminución, compuesta por trituración y molienda; 2) clasificación; 3) pre-concentración; 4) concentración; 5) hidrometalurgia; 6) recuperación; 7) fundición; y 8) supresión de polvo. A partir de la sumatoria de estos aforos se obtuvo la demanda de agua total de cada unidad de producción minera (UPM).

Durante el trabajo de campo se identificaron los procesos que demandan (uso o consumo) agua en las diferentes unidades de producción minera visitadas y, ante la falta general de sistemas de medición de caudales, se realizaron los aforos volumétricos correspondientes.

2.1.1 Distrito minero del Nordeste antioqueño

Este distrito se entienden según lo expuesto por UPME (2005 pág. 51)[108] y Gobernación de Antioquia (2013 pág. 23)[109] que, además de los municipios mineros del Nordeste antioqueño incluyen los ubicados en el Bajo Cauca antioqueño.

Se visitaron dos minas subterráneas en el municipio de Zaragoza y tres plantas de beneficio, conocidas como entables mineros, en el municipio de Segovia del distrito minero del Nordeste antioqueño. En las cinco unidades se realizaron aforos volumétricos ante la ausencia de instrumentos de medición y control de caudales de las aguas captadas de arroyos y pozos profundos con que se surten (Tabla 39). En ningún caso se verificó la recirculación de agua.

El consumo doméstico es el ítem de menor demanda, las UPM cuentan con pocos empleados de planta, no se cuenta con campamentos en el caso de las UPM donde se realiza extracción de material, como en el municipio de Zaragoza o viven cerca en los casos de las UPM donde solo se realiza beneficio del material, como en el municipio de Segovia, por ende, a pesar de las jornadas laborales, los empleados utilizan el agua en poca cantidad, obteniéndose un porcentaje máximo alrededor de 3% de la demanda total.

[108] Op. Cit.
[109] Gobernación de Antioquia. (2013). *Memorias Foro subregional: ¿De qué vivirán los pobladores rurales?, Bajo Cauca.* Medellín

Las mayores demandas hídricas se registran en los procesos de molienda en barriles amalgamadores, en la concentración en molinos de bolas discontinuos, también conocidos como marranas, en la hidrometalurgia y en la fundición. Debido a factores, como las características de los materiales minados, el proceso de molienda se realiza en tres etapas seguidas de un lavado del material que es de proceso de mayor demanda hídrica como se observa en el Gráfico 10.

Las unidades mineras seleccionadas para el municipio de Zaragoza desarrollan minería subterránea y extraen agua de infiltración; sin embargo, este recurso no es utilizado debido a su basicidad y consecuente impacto en la producción, por esta razón el agua requerida es captada de fuentes superficiales. Los valores de demanda (uso y consumo) en las UPM de este municipio fueron: 0.53 m^3/h para la UPM 05895O02 y 0.45 0.53 m^3/h para la UPM 05895O01.

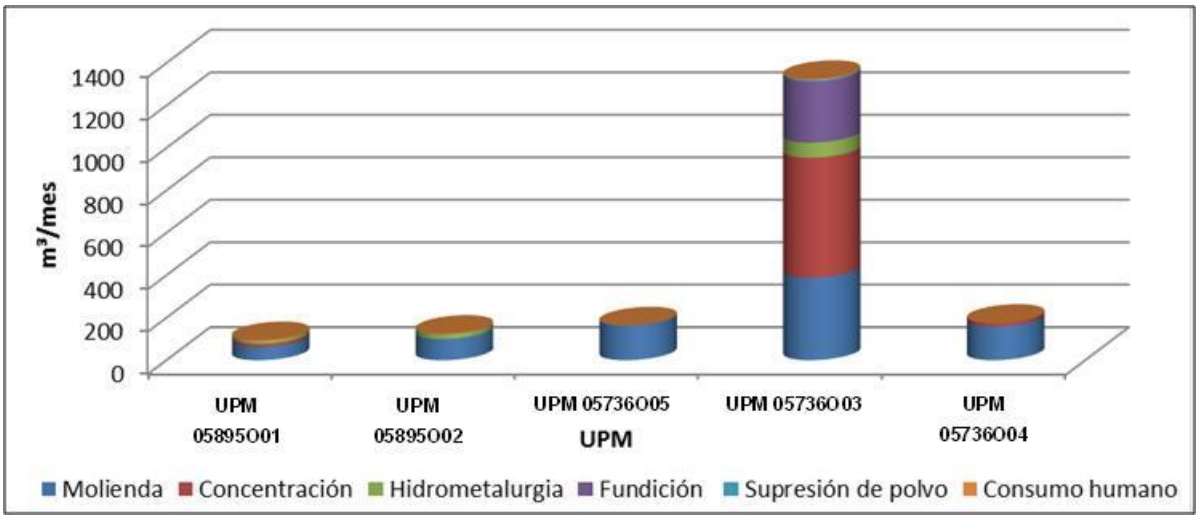
Tabla 39. Demanda hídrica por proceso minero el distrito minero del Nordeste antioqueños

PROCESO	ZARAGOZA		SEGOVIA		
	UPM 05895O01	UPM 05895O02	UPM 05736O05	UPM 05736O03	UPM 05736O04
Tipo de Agua	Corriente superficial	Corriente superficial	Pozo profundo	Pozo profundo	Pozo profundo
Volumen Extraido de agua	96,01	127,11	173,02	1349,892	178,03584
Trituración					
Molienda	62,40	99,84	163,30	388,80	158,40
Clasificación					
Preconcentración					
Concentración	14,56			565,79	16,69
Hidrometalurgia	13,50	22,40		70,37	
Recuperación del Oro					
Fundición				287,61	
Supresión de polvo				8,29	
limpieza					
Consumo humano	3,28	1,87	0,14	3,60	0,54
Demanda hídrica (m^3/mes)	**93,74**	**124,11**	**163,44**	**1324,46**	**175,63**
Toneladas Procesadas	18,20	29,12	52,92	126,00	46,20
Producción de oro	S.I	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Dias laborados	26,00	26,00	12,00	30,00	30,00
Horas diaria Laboradas	8,00	9,00	12,00	12,00	12,00
Relación de demanda (m^3/t)	**5,15**	**4,26**	**3,09**	**10,51**	**3,80**

La UPM 05895O01 procesa el 62.5 % del total mensual de la UPM 05895O02 demandando el 75 % de agua. En esta relación, es importante anotar que la primera demanda el 62.4 % del agua requerida por la segunda en molienda, el 60.3 % en

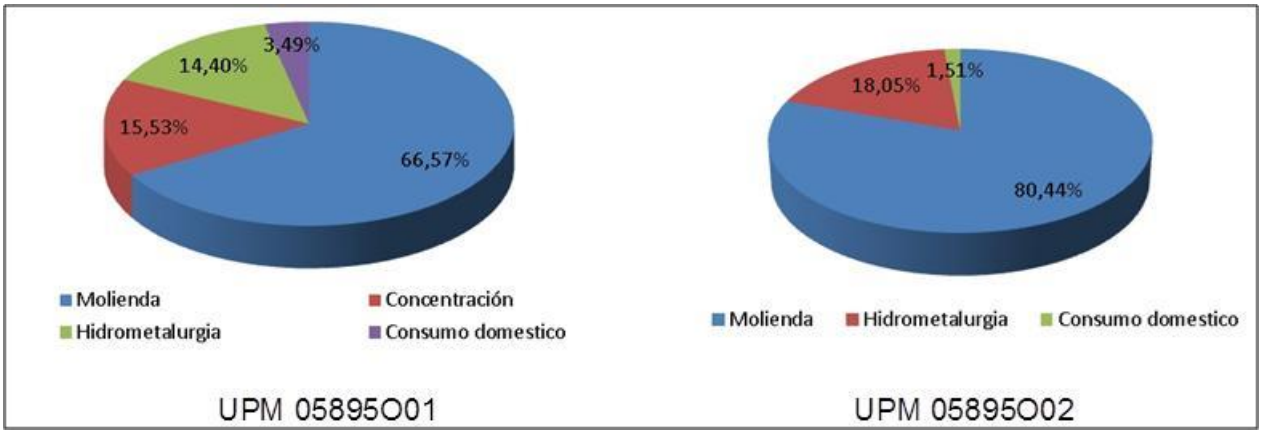
hidrometalurgia, 12.5 % más de horas laboradas al mes y precisa procesos de concentración no imprescindibles en la segunda. Esta diferencia puede indicar dos cosas: ineficiencia en los procesos de la primera o mayores exigencias asociadas a las características del yacimiento. De acuerdo con la Tabla 1 el promedio de demanda hídrica (uso y consumo) en las UPM del municipio de Zaragoza es de 109 m^3/mes (0.49 m^3/h ~ 0.14 l/s). Estas dos unidades usan el mayor porcentaje de sus demandas en la molienda, seguida por la concentración y la hidrometalurgia (Gráfico 11).

Gráfico 10. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero del Nordeste antioqueño



El municipio de Segovia, las UPM estudiadas obtienen el agua de pozos profundos para las operaciones de beneficio. De acuerdo con la información suministrada por los mineros entrevistados y los aforos realizados, el volumen de agua extraído de las minas es un 88.4 % mayor que aquel captado de fuentes superficiales. En Segovia se obtuvieron valores de 3.68 m^3/h para la mina 05736O03, 1.14 m^3/h para la mina 05736O05 y 0.49 m^3/h para la mina 05736O04.

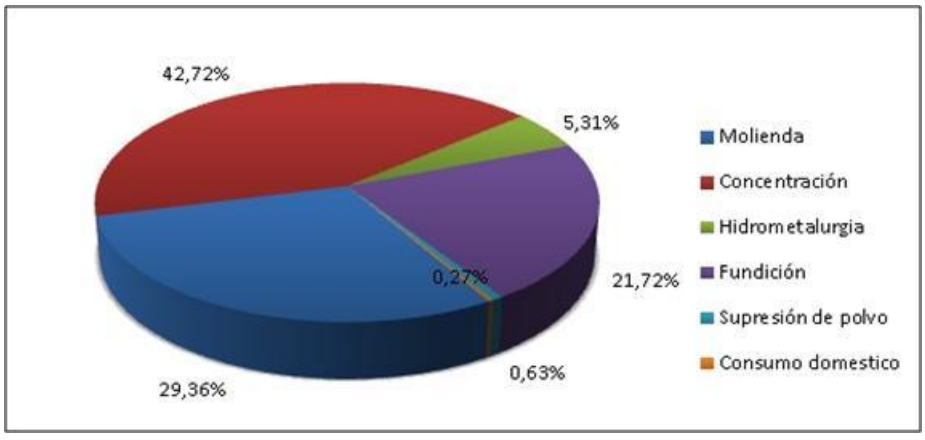
Gráfico 11. Demanda de agua en las UPM 05895O01 y 05895O02



Excepto la mina 05736O03 que cuenta con planta de fundición, las unidades de producción minera (UPM) al carecer de tecnologías requeridas para la recuperación del oro venden el material molido o la pulpa de cianuración a plantas que puedan continuar el proceso.

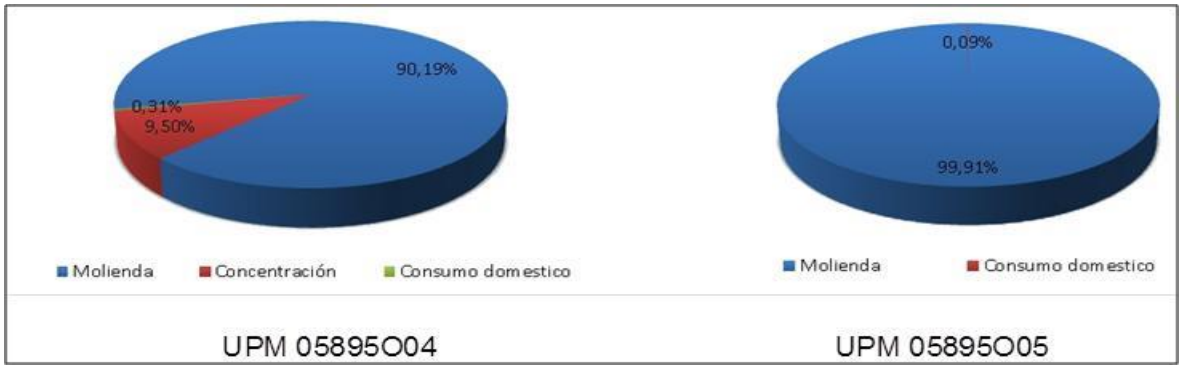
La mina 05736O03, con una demanda de 3.68 m^3/h que parece excesiva en comparación con las otras dos UPM visitadas, procesa entre dos y siete veces más material que estas alcanzando las 126 t/m. Adicionalmente, es la que utiliza el mayor número de procesos (de molienda, clasificación, hidrometalurgia, recuperación, fundición y supresión de polvo). Esta unidad cuenta con el mayor número de procesos y es en la concentración donde demanda el mayor volumen de agua (Gráfico 12).

Gráfico 12. Demanda de agua por procesos en la UPM 05736O03



Las UPM 05736O05 (molienda) y La 05736O04 (molienda y concentración) procesan volúmenes comparables, 52.9 t/m y 42.6 t/m respectivamente. La primera procesa un 14.6 % más que la segunda demandando 6.9 % menos de agua en los procesos de beneficio, 60 % menos de horas laboradas al mes y, en consecuencia, 73.3 % menos en consumo humano. Como muestra el Gráfico 13, estas UPM tienen mayor demanda en los procesos de molienda.

Gráfico 13. Demanda de agua por procesos en las UPM 05736O04 y 05736O05



De todo lo anterior se infiere que, además del volumen procesado, la variación en la demanda de agua está directamente relacionada con el número de procesos implementados durante la etapa de beneficio de mineral más que con la cantidad de material procesado.

2.1.2 Distrito minero de San Martín de Loba

En los municipios bolivarenses de San Martín de Loba, Altos del Rosario, Norosí y Hatillo de Loba, que forman parte del distrito minero de San Martín de Loba en el sentido de UPME (2005 pág. 16)[110] se visitaron las 10 unidades de producción minera (UPM) relacionadas en la Tabla 40. Estas UPM corresponden con explotaciones subterráneas y plantas de beneficio que utilizan amalgamación y cianuración.

En esta región el acceso a recurso hídrico para procesos de beneficio y consumo humano se dificulta durante las épocas de estiaje lo que puede llegar incluso a impactar la

[110] Op. Cit.

producción de oro al reducir el número de horas laborales al día y la cantidad de material procesado.

En la Tabla 40 se observa que cerca del 60% de las UPM estudiadas se abastecen de agua subterránea, proveniente de pozo profundo o bocaminas. En época de estiaje suele haber desabastecimiento hídrico que sumadas al deficiente servicio de energía se constituye en una limitante en el desarrollo de operaciones de beneficio.

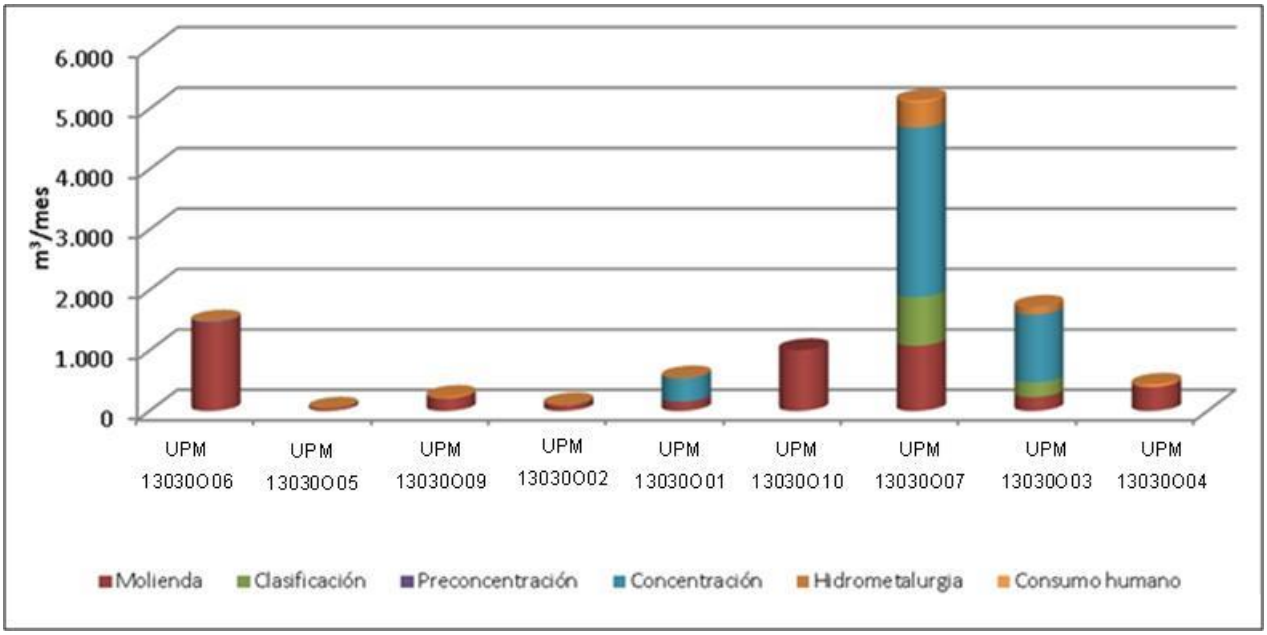
En algunas de las UPM en estudio, se cuenta con albercas o tanques de almacenamiento de agua, a partir de las cuales es distribuida, ya sea por medio de tuberías o por medio de baldes. En ninguna de las UPM en estudio se cuenta con instrumentos de medición de caudales en la entrada, ni en la salida del sistema.

En todas las UPM investigadas en este distrito se realiza el proceso de molienda – amalgamación en ausencia de trituración, recuperación y fundición, según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 40. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)

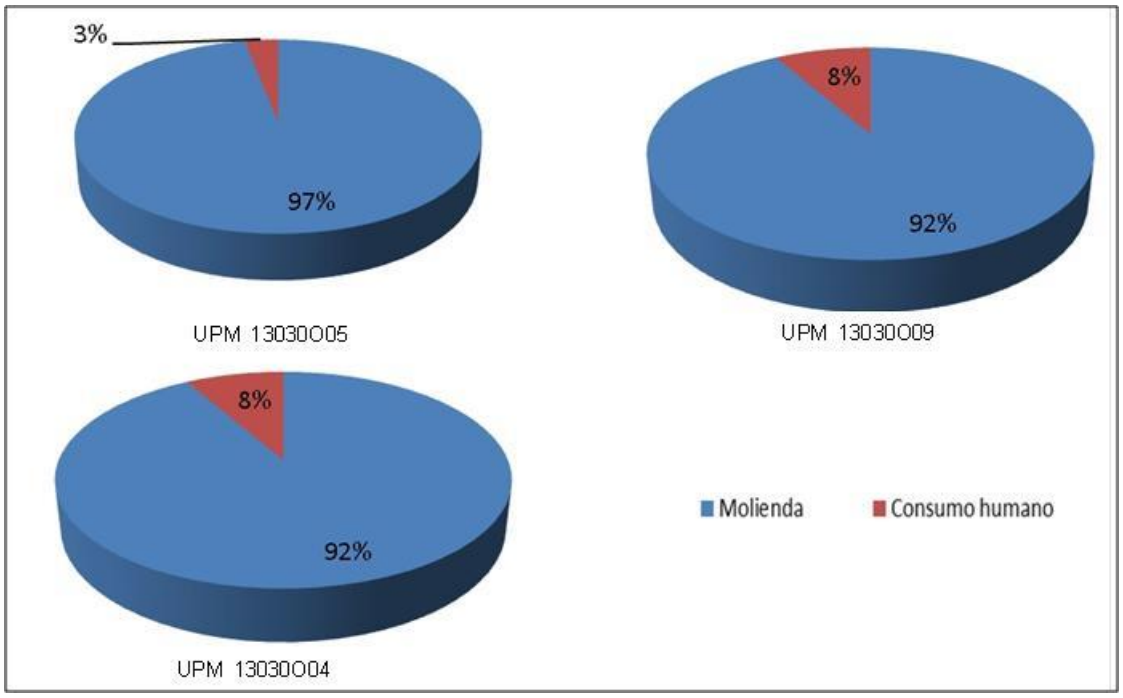
PROCESO	ALTOS DEL ROSARIO										HATILLO DE LOBA	NOROSI				SAN MARTIN DE LOBA																
	UPM 13030O06								UPM 13030O05		UPM 13300O09	UPM 13490O02			UPM 13490O01	UPM 13667O10		UPM 13667O07		UPM 13667O08		UPM 13667O03		UPM 13667O04								
	Entable 1		Entable 2		Entable 3		Recuperacion Oro					Entable No 1		Entable No 2											Entable No 1		Entable No 2		Entable No 3			
Tipo de Agua	Subterranea	Superficial	Subterranea	Superficial	Subterranea	Superficial	Subterranea	Subterranea	Superficial	Subterranea		Subterranea	Superficial	Subterranea		Subterranea	Subterranea	Subterranea - Recirculación	Acueducto	Subterranea - Recirculación	Acueducto	Subterranea	Subterranea	Subterranea	Superficial	Subterranea	Superficial	Superficial	Superficial			
Fuente	Clavada abandonada	Nacimiento	Bocamina	Nacimiento	Pozo Profundo	Nacimiento	Clavada abandonada	Bocamina	Nacimiento	Bocamina		Bocamina	Pozo profundo	Quebrada	Pozo Profundo	Bocamina	Pozo Profundo	Bocamina	Bocamina - Planta de Beneficio	Acueducto	Bocamina - Planta de Beneficio	Acueducto	Bocamina	Pozo Profundo	Pozo Profundo	Nacimiento	Pozo Profundo	Nacimiento	Quebrada	Nacimiento		
Volumen Extraido de agua	1152,0		331,3		143,1	6,5	3,1	38,4		298,2	27,6	1,8	144,4	1,0	554,8	1,1	4448,3			23,8		32,5	1800,0	3,0	158,5		229,2		51,8			
Trituración																																
Molienda	1079,1		279,6		83,7			38,2		211,5	18,5		76,5		152,3		1006,2	1079,6		3366,0			230,8		146,8		201,4		49,6			
Clasificación																		803,4		2634,0			240,0									
Preconcentración	34,6														3,0																	
Concentración															386,2			2808,0		39000,0			1128,0									
Hidrometalurgia							3,1						11,2		13,2			418,5					120,4									
Recuperación del Oro																																
Fundición																																
Supresión de polvo																																
limpieza																																
Consumo humano		0,4		0,2		1,6	0,0		1,2	19,2		1,8		1,0		1,1				23,8		32,5		3,0		9,0		18,0		9,0		
Demanda hídrica (m^3/mes)	**1113,7**	**0,4**	**279,6**	**0,2**	**83,7**	**1,6**	**3,1**	**38,2**	**1,2**	**230,7**	**18,5**	**1,8**	**87,7**	**1,0**	**554,7**	**1,1**	**1006,2**	**5109,5**	**23,8**	**45000,0**	**32,5**	**1719,2**	**3,0**	**146,8**	**9,0**	**201,4**	**18,0**	**49,6**	**9,0**			
Toneladas Procesadas (t/mes)	150,0		31,2		23,4		1,0	20,2		27,0	8,0		27,0		7,2		312,0	600,0		2700,0			400,0		91,0		224,6		145,6			
Producción de oro (g/mes)			S.I.					170,0		S.I.		320,0			140,0		S.I.	2000,0		S.I.			2000,0				S.I.					
Dias laborados	30,0		26,0		26,0		3,0	8,0		30,0	8,0		26,0		16,0		26,0	30,0		30,0			20,0		26,0		26,0		26,0			
Horas diaria laboradas	20,0		11,0		8,0		6,0	12,0		8,0	12,0		12,0		3,0		8,0	12,0		20,0			20,0		8,0		8,0		9,0			
Relación de demanda (m^3/t)	**7,43**		**8,97**		**3,65**		**3,07**	**1,95**		**8,54**	**2,53**		**3,29**		**77,20**		**3,23**	**8,56**		**16,68**			**4,31**		**1,71**		**0,98**		**0,40**			

Gráfico 14. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)



Las diferencias en la demanda hídrica en las diferentes UPM evidenciadas en el Gráfico 14 están relacionadas con las características propias de cada una como: número de horas laboradas al mes, número de operaciones unitarias realizadas, número de veces que el material es sometido a un mismo proceso y prácticas propias o costumbres de los mineros frente al beneficio, entre otras.

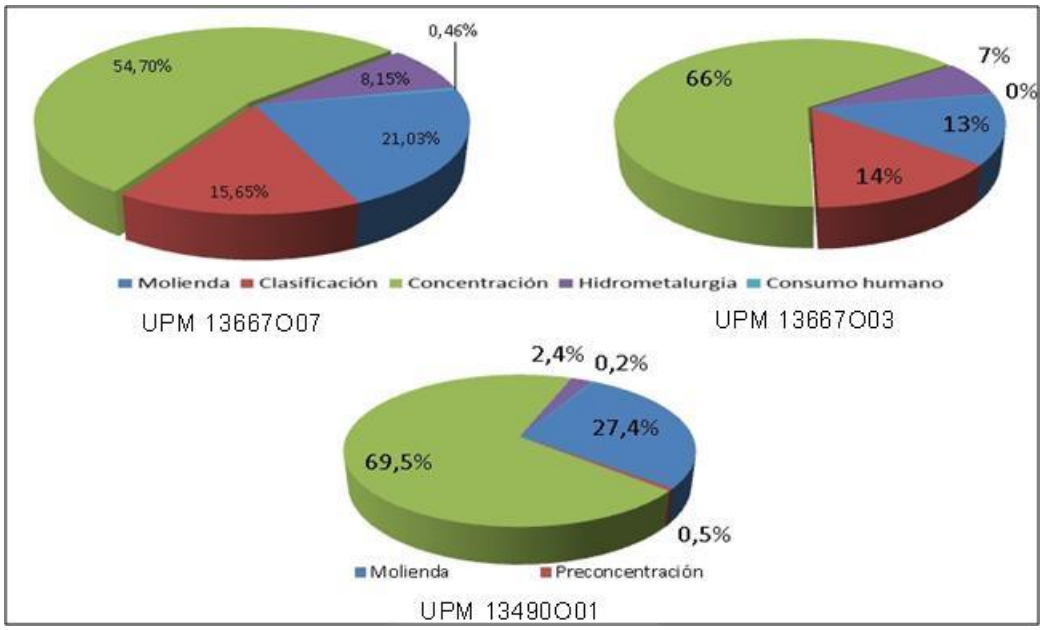
Gráfico 15. UPM que sólo registran dos tipos de demanda hídrica



Tres UPM utilizan cuatro tipos de demanda diferentes, siendo comunes a las tres la molienda, la concentración y la cianuración.

Se encontraron tres UPM que aplicaban 4 procesos unitarios en su planta de beneficio, 3 de ellos comunes que son molienda, concentración y la cianuración, la diferencia está que en la 13667O07 y la 13667O03 realizan clasificación y en 13490O01 realizan es pre-concentración.

Gráfico 16. UPM en Bolívar que aplican cuatro procesos



Distribuidos por municipios, las UPM visitadas presentan las siguientes características.

En el municipio de Altos del Rosario se visitaron dos unidades cuyo promedio de demanda hídrica es de 759.2 m^3/mes (1.28 m3/h ~ 0.36 l/s).

- Mina 13030O06 que cuenta con tres entables y un sitio de recuperación en las cuales se realiza molienda, molienda – amalgamación y cianuración en el procesamiento de 205.6 t/mes con una demanda mensual de 1479.1 m^3 arrojando una relación de demanda de 7.19 m^3/t.
- Mina 13030O05, donde un único proceso de molienda – amalgamación demanda el 97% (38.2 m^3/mes) del total mensual y el 3% (1.2 m^3/mes) restante corresponde a consumo humano, con un volumen de procesamiento de 20.16 t/mes para reportar una relación de 1.95 m^3/t.

En el municipio de Hatillo de Loba, se visitó la mina 13300O09 en donde se reporta una demanda mensual aproximada de 230.7 m^3/mes (0.96 m^3/h ~ 0.27 l/s) para la molienda – amalgamación de 27 t/mes para una relación de 8.5 m^3/t. De acuerdo con lo observado en campo, esta alta relación parece deberse a las características de dureza y tenacidad del material procesado y la técnica utilizada para la molienda.

En el municipio de Norosí, se visitaron dos UPM:

- Mina 13490O02, compuesta por dos entables que en conjunto procesan 34.2 t/mes con una demanda de 109 m^3/mes (1.35 m^3/h ~ 0.38 l/s) para una relación de 3.1 m^3/t.
- Mina 13490O01 donde con una relación de 53.8 m^3/t se procesan 7.2 t/mes con una demanda de 555.8 m^3/mes (29.3 m^3/h ~ 8.13 l/s) distribuidos de la siguiente forma: 69.5 % en concentración, 27.4 % en molienda, 2.4 % en hidrometalurgia y 0.7 % entre pre-concentración y consumo humano. Su alto consumo se debe al uso de dos mesas Wilfley que representan el 68.7 % de la demanda hídrica, pues pudo corroborarse que el caudal de la mesa 1 es de 184.5 m^3/mes (64.07 l/s) y el de la mesa 2 de 197.3 m^3/mes (68.5 l/s).

En el municipio de San Martín de Loba fueron revisadas cuatro minas y tres plantas de producción de pequeña escala:

- Mina 13667O10, con una relación de 8.56 m^3/t, una capacidad de procesamiento de 312 t/mes demandando 1006.2 m^3/mes (4.8 m^3/h ~ 1.34 l/s) en el proceso de molienda, para una relación de 3.2 m^3/t.
- Mina 13667O07, con una demanda mensual de 5133.2 m^3/mes (14.3 m^3/h ~ 3.96 l/s) distribuidos en 54.7 % en concentración, 21.0 % en molienda, 15.7 % en clasificación y 8.2 % en hidrometalurgia.
- Operadora 13667O08, que con la mayor relación del distrito (16.7 m^3/t) procesa 2700 t/mes y una demanda de 45032.5 m^3/mes (75 m^3/h ~ 20.9 l/s) en la que la concentración participa con el 86.6 %, la molienda con el 7.5 %, la clasificación con el 5.8 % y el consumo humano con el 0.1 %. Esta UPM registra la mayor demanda de entre las unidades examinadas en el distrito debido al proceso de flotación espumante que representa el 86.6 % de dicha demanda. Adicionalmente, en esta unidad se recircula el vertimiento generado durante el beneficio lo que minimiza la amenaza sufrida por las otras en épocas de sequía.
- Mina 13667O03, con una relación de 4.31 m^3/t, procesa 400 t/mes con una demanda hídrica de 1722.2 m^3/mes (4.3 m^3/h ~ 1.2 l/s) representada en concentración (65.5 %), clasificación (13.9 %), molienda (13.4 %) e hidrometalurgia (7.0 %).
- En el caserío Los Entables, se visitaron tres plantas con relación promedio de 1.03 m3/t, procesando 153.8 t/mes y demandando 144.6 m^3/mes (0.7 m^3/h ~ 0.19 l/s) fundamentalmente en el proceso de molienda (91.7 %) y consumo humano (8.3 %).

Otro factor que se ve directamente relacionado con este aumento de agua es que la capacidad instalada de los equipos de la planta no es la misma con la que se está trabajando y algunos de ellos tienen un flujo de agua establecido para su funcionamiento, independiente de la cantidad de material a procesar.

Teniendo en cuenta los escenarios del departamento, se destacan dos UPM en el sistema de flujo del recurso hídrico, debido a que cuentan con un circuito de recirculación del vertimiento hacia el proceso de beneficio, como lo son 13667O07 y Operadora 13667O08, la primera sin funcionamiento de las labores mineras, por problemas de mineralización.

2.1.3 Distrito minero del Tambo (Cauca)

Se describen las 10 UPM visitadas en los municipios de Buenos Aires, El Tambo, Rosas y Suárez, ubicados en la región central del departamento del Cauca y enmarcados dentro del distrito minero del Tambo (UPME, 2005 pág. 16).

Como se deriva de la Tabla 41, cerca del 70 % de agua usada en los procesos mineros de las unidades visitadas en este distrito corresponde al drenaje de las operaciones subterráneas y el 96.2 % del agua para consumo humano proviene de corrientes superficiales cercanas.

El promedio de demanda hídrica para las 10 unidades de producción minera visitadas en la demanda de agua de las UPM muestra un promedio de 1973,17 m^3/mes, sin embargo, estas demandas varían de 8975,45 m^3/mes hasta 90,83 m^3/mes; contrario a la primera impresión que se tiene con estas cifras, y como se verá más adelante, la primera y más alta corresponde a la de mayor eficiencia en demanda de agua y la segunda y más baja a una de las más ineficientes.

Gráfico 17. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero del Tambo (Cauca)

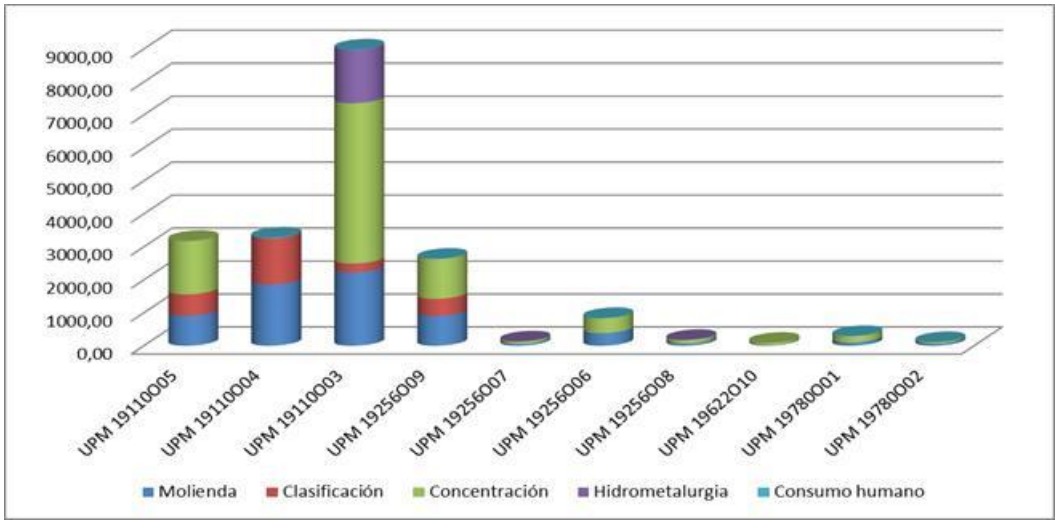


Tabla 41. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero del Tambo (Cauca)

Tipo de Agua	BUENOS AIRES					EL TAMBO						ROSAS	SUAREZ	
	UPM 19110004	UPM 19110004		UPM 19110003		UPM 19256009	UPM 19256007	UPM 19256006		UPM 19256008		UPM 19622010	UPM 19780001	UPM 19780002
Fuente hídrica	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)	Subterranea (bocamina)	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)	Corriente superficial	Corriente superficial	Subterranea (bocamina)
Volumen Extraido de agua		2436,5		9720,0	9,3	2208,0	3,6	102,0	1104,0				311,0	121,0
Trituración														
Molienda	911,5	1855,4		2223,9		904,3		50,8	383,2		65,0	18,1	97,2	63,2
Clasificación	648,0	1404,0		269,8		518,4								
Preconcentración														
Concentración	1620,0			4861,2		1209,6		78,6	451,3		112,8	72,7	198,7	48,4
Hidrometalurgia				1620,5		3 *		4 *	1,5 *		1,5 *			
Recuperación del Oro														
Fundición														
Supresión de polvo														
limpieza														
Consumo humano			23,0		9,3		3,6			5,1			1,5	1,7
Demanda de Agua por unidad de produccion	**3179,5**	**3259,4**	**23,0**	**8975,4**	**9,3**	**2635,3**	**3,6**	**133,5**	**836,0**	**5,1**	**179,3**	**90,8**	**297,4**	**113,3**
Toneladas Procesadas (t/mes)	360,0	750,0		6000,0		288,0		24,0	144,0		28,0	6,0	24,0	7,2
Producción de oro (g/mes)	150,0	S.I.		S.I.		2500,0		250,0	600,0		160,0	S.I.	80,0	300,0
Dias laborados	24,0	25,0		30,0		24,0		24,0	24,0		24,0	20,0	24,0	24,0
Horas diarias laboradas	15,0	16,0		24,0		24,0		8,0	8,0		8,0	8,0	12,0	6,0
Relación de demanda (m^3/t)	8,8	4,4		1,5		9,2		5,6	5,8		6,4	15,1	12,4	15,7

En el municipio de El Tambo se visitaron cuatro unidades de producción minera:

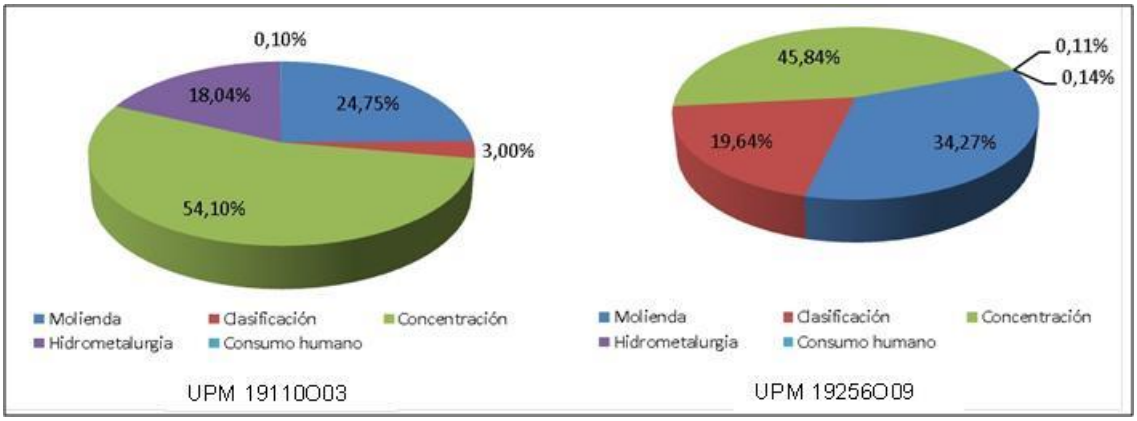
- Mina 19256O09, cuya demanda hídrica alcanza los 2638.9 m^3/mes (4.6 m^3/h ~ 1.3 l/s) distribuidos en concentración (45.8 %), molienda (34.3 %), clasificación (19.6 %), hidrometalurgia y consumo humano (0.2 %), con una capacidad de procesamiento de 288 t/mes, para una relación de 9.2 m^3/t.
- Mina 19256O07, con una relación de 5.6 m3/t, una producción de 24 t/mes y una demanda hídrica de 133.5 m^3/mes (0.7 m^3/h ~ 0.2 l/s) distribuidos en concentración (58.9 %), molienda (38.1 %) e hidrometalurgia (3.0 %).
- Mina 19256O06, con una demanda de 841.1 m^3/mes (4.4 m^3/h ~ 1.2 l/s) distribuida en concentración (53.7 %), molienda (45.6 %), consumo humano (0.6 %) e hidrometalurgia (0.2 %). Para una relación de 5.8 m^3/t.
- Planta de beneficio 19256O08, con una relación de 6.4 m^3/t formada por una capacidad de 28 t/mes y una demanda de 179.3 m^3/mes (0.9 m^3/h ~ 0.3 l/s) distribuida en concentración (62.9 %), molienda (36.3 %) e hidrometalurgia (0.8 %).

De la descripción anterior se deriva una relación inversa entre la capacidad de producción y la relación de demanda, pues a excepción de tres de las UPM del municipio del Tambo (19256O06, 19256O07 y la planta de beneficio 19256O08), a medida que se incrementa la primera reduce la segunda.

En el municipio de Suárez fueron inspeccionadas dos unidades productivas mineras:

- Mina 19780O01, con una relación de 12.4 m^3/t, una producción de 24 t/mes y una demanda hídrica de 297.4 m^3/mes (1.0 m^3/h ~ 0.3 l/s) distribuida entre la concentración (66.8 %), la molienda (32.7 %) y el consumo humano (0.5 %).
- Mina 19780O02, con una capacidad de 7.2 t/mes y una demanda hídrica de 113.3 m^3/mes (0.8 m3/h ~ 0.2 l/s) distribuidos entre molienda (55.8 %), concentración (42.7 %) y consumo humano (1.5 %). Para una relación de 15.73 m3/t, la mayor de las UPM analizadas en el distrito.

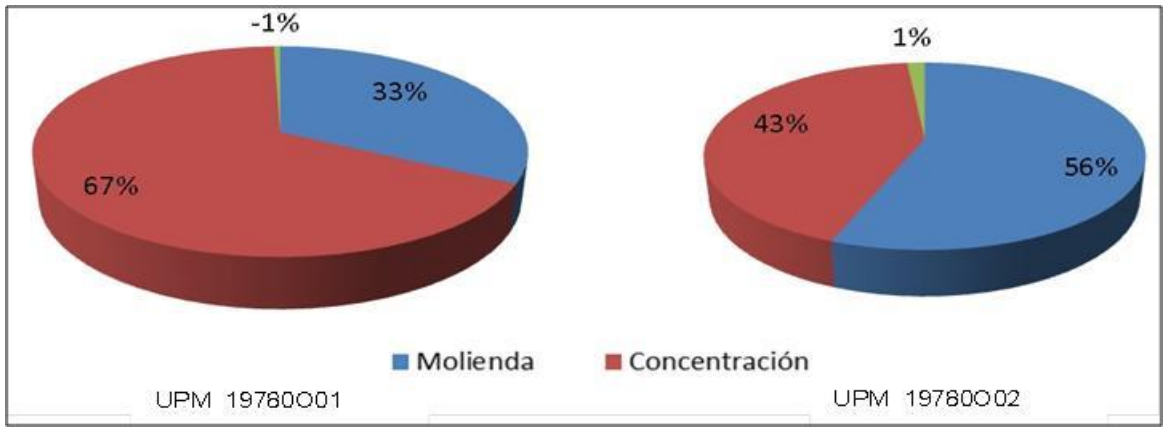
Gráfico 18. Demanda de agua en procesos de las UPM 19110O03 y 19256O09



En el municipio de Buenos Aires se visitaron tres unidades de producción minera:

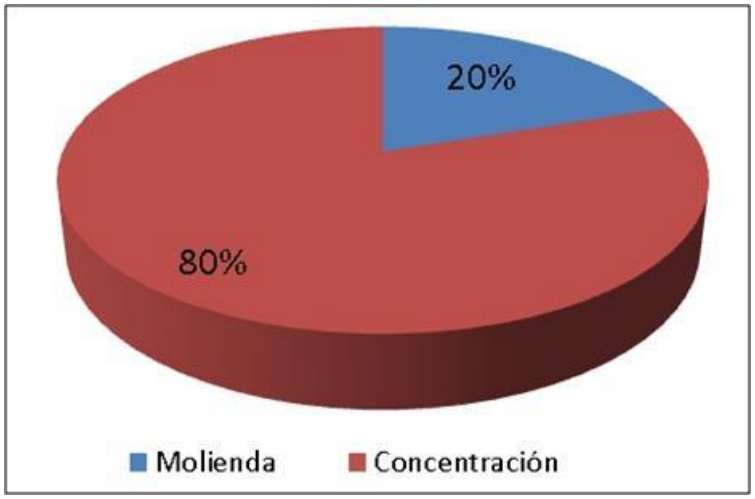
- Mina 19110O05, con una demanda de 3179.5 m^3/mes (8.8 m^3/h ~ 2.45 l/s) distribuida en concentración (51 %), molienda (28.7 %) y clasificación (20.4 %), para procesar 360 t/mes teniendo una relación de demanda de 8.8 m^3/t.
- Mina 19110O04, con una capacidad de procesamiento de 750 t/mes y una demanda de agua de 3282.5 m^3/mes (8.2 m^3/h ~ 2.3 l/s) en procesos de clasificación (56.5 %), concentración (42.8 %) y consumo humano (0.7 %).
- Mina 19110O03, con una relación de 1.5 m3/t, la menor del distrito, es la de mayor demanda con 8984.8 m3/mes (12.5 m3/h ~ 3.5 l/s) al tiempo que es la de mayor capacidad de procesamiento (6000 t/mes). Su demanda hídrica se distribuye en concentración (54.1 %), molienda (24.8 %), hidrometalurgia (18.0 %), clasificación (3.0 %) y consumo humano (0.1 %). Al final del proceso Merril Crowe el agua es recirculada al proceso.

Gráfico 19. Demanda de agua en procesos en la UPM 19780O01 y 19780O02



En el municipio de Rosas se visitó la mina 19622O10, cuya demanda es la menor de las UPM estudiadas en el distrito minero con 90.8 m^3/mes (0.6 m^3/h ~ 0.2 l/s) distribuidos en concentración (80.1 %) y molienda (19.9 %), para una producción de 6 t/mes y una relación de demanda de 15.14 m^3/mes, la segunda mayor del distrito.

Gráfico 20. Demanda de agua en procesos UPM 19622O10

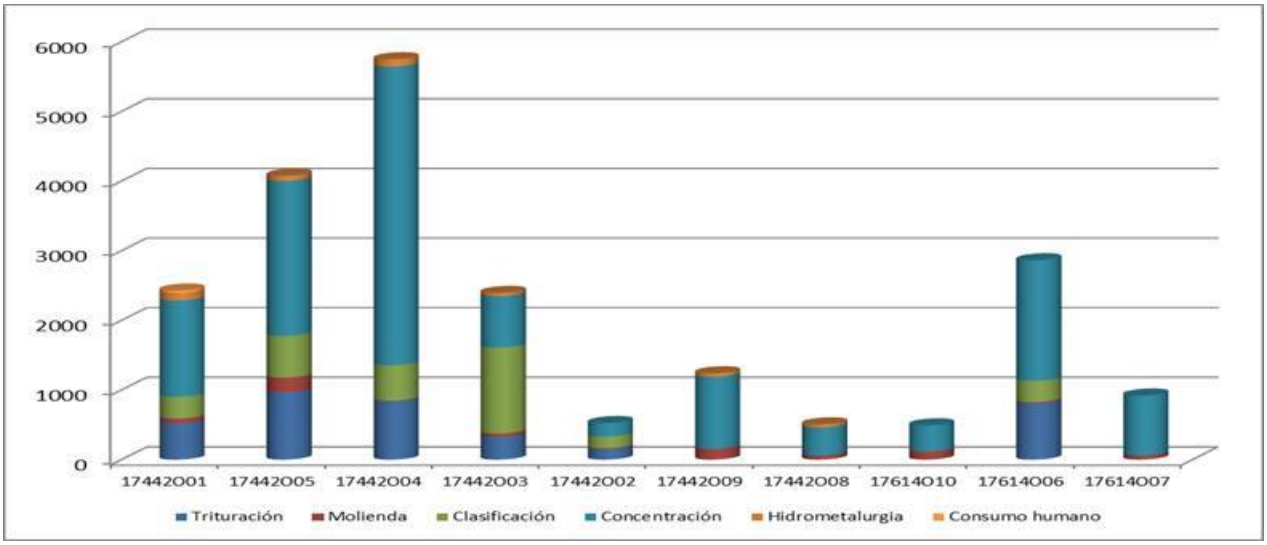


2.1.4 Distrito minero de Marmato (Caldas)

En el distrito minero de Marmato, en el sentido UPME (UPME, 2005 pág. 57)[111] e incluyendo el municipio de Río Sucio según (Minminas, y otros, 2003 pág. 52)[112] se visitaron siete unidades productivas mineras en Marmato y tres en Rio Sucio.

[111] Op. Cit.
[112] Op. Cit.

Gráfico 21. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM del distrito minero de Marmato (Caldas)



Como se observa en la Tabla 42, el 50 % de las UPM visitadas se abastecen de corrientes hídricas superficiales. Un 20 % reutiliza el agua vertida en procesos de UPM ubicadas aguas arriba, otro 20 % mezcla estas aguas con las extraídas de la mina en tanques de almacenamiento y el 10 % restante utiliza el agua que extrae en la bocamina.

Ninguna de las UPM visitadas cuenta con medidores de caudal ni tiempos fijos de llenado de los tanques de almacenamiento, por esta razón los resultados de los aforos realizados durante el trabajo de campo en época de sequía podrían ser inferiores a los caudales frecuentes de estas unidades. La dificultad en la medición de los caudales es particularmente difícil en aquellas UPM que utilizan aguas utilizadas aguas arriba puesto que la valoración de los tiempos y caudales de vertimiento en estas minas es incierto.

Las unidades productivas mineras estudiadas en este distrito presentan un promedio de 2118.94.4 m^3/mes, con valores extremos de 5748.7 m^3/mes y 491.1 m^3/mes; El promedio de demanda hídrica y la capacidad de producción es superior para las UPM del municipio de Marmato (2416.7 m^3/mes y 449.4 t/mes respectivamente) que para aquellas de Riosucio (1424.2 m^3/mes y 112.67 t/mes respectivamente) arrojando una relación de demanda general de 5.6 m^3/t para el primero y de 13.8 m^3/t para el segundo.

Tabla 42. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Marmato (Caldas)

PROCESO	MARMATO							RIO SUCIO		
	UPM 17442O01	UPM 17442O05	UPM 17442O04	UPM 17442O03	UPM 17442O02	UPM 17442O09	UPM 17442O08	UPM 17614O10	UPM 17614O06	UPM 17614O07
Tipo de Agua	Corriente superficial	Vertimientos de otras UPM	Vertimientos de otras UPM y bocamina	Corriente superficial	Corriente superficial	Vertimientos de otras UPM	Vertimientos de otras UPM	Bocamina	Corriente superficial	Corriente superficial
Volumen Extraido de agua	2313,79			12972,96	1563,84	651,46	1866,24		2695,68	922,90
Trituración	524,16	967,82	838,66	327,60	149,76				808,70	
Molienda	65,00	209,90	6,24	47,32	14,09	154,16	61,24	116,69	16,64	58,24
Clasificación	314,50	597,17	509,18	1235,52	168,19				307,01	
Preconcentración										
Concentración	1383,88	2227,77	4290,62	738,32	191,70	1035,22	403,38	374,40	1729,73	861,12
Hidrometalurgia	108,00	76,00	104,00	45,00		50,00	41,00			
Recuperación del Oro										
Fundición										
Supresión de polvo										
limpieza										
Consumo humano	31,51									
Demanda hídrica (m^3/mes)	**2427,04**	**4078,66**	**5748,70**	**2393,76**	**523,75**	**1239,38**	**505,62**	**491,09**	**2862,08**	**919,36**
Toneladas Procesadas	520,00	728,00	702,00	728,00	200,00	208,00	60,00	26,00	208,00	104,00
Producción de oro (g/mes)	700,00	900,00	1500,00	S.I.	S.I.	1000,00	600,00	300,00	700,00	400,00
Dias laborados	26,00	26,00	26,00	26,00	20,00	26,00	30,00	26,00	26,00	26,00
Horas diaria Laboradas	20,00	24,00	24,00	18,00	12,00	24,00	24,00	8,00	16,00	17,00
Relación de demanda (m^3/t)	**4,67**	**5,60**	**8,19**	**3,29**	**2,62**	**5,96**	**8,43**	**18,89**	**13,76**	**8,84**

En el municipio de Marmato se visitaron siete unidades de producción minera, así:

- Mina 17442O01, con una relación de demanda de 4.67 m^3/t, una capacidad de producción de 520 t/mes y una demanda de 2427.1 m^3/mes (4.67 m^3/h ~ 1.3 l/s) distribuida en concentración (57.0 %), trituración (21.6 %), Clasificación (13 %), molienda (2.7 %), hidrometalurgia (4.4 %) y consumo humano (1.3 %). Esta es la única UPM de las estudiadas que cuenta con campamento dotado de cuarto, cocina y baño para los empleados.

- Mina 17442O05, con una producción de 728 t/mes y una demanda de 4078.7 m^3/mes (6.5 m^3/h ~ 1.8 l/s) distribuida en concentración (54.6 %), trituración (23.7 %), clasificación (14.6 %), molienda (5.1 %) e hidrometalurgia (1.9 %). Para una relación de 5.6 m^3/t.

- Mina 17442O04, con una demanda hídrica de 5748.7 m^3/mes (9.2 m^3/h ~ 2.6 l/s) distribuida en concentración (74.6 %), trituración (14.6 %), clasificación (8.9 %), hidrometalurgia (1.8 %) y molienda (0.1 %), con una producción de 702 t/mes y una relación de 8.2 m^3/t.

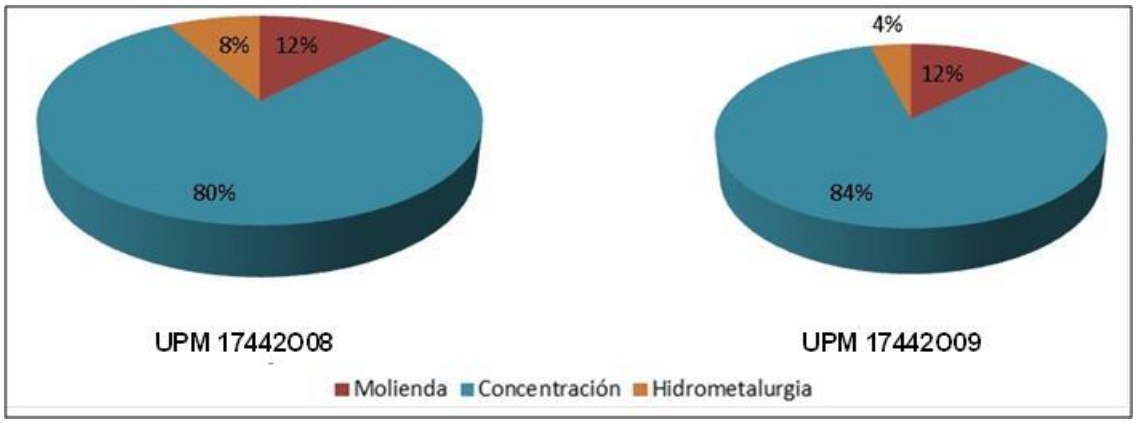
- Mina 17442O03, con una relación de 3.3 m^3/t, una capacidad de 728 t/ y una demanda hídrica de 2393.8 m3/mes (5.1 m^3/h ~ 1.4 l/s) distribuida entre clasificación (51.6 %), concentración (30.8%), trituración (13.7%), molienda (2.0%) e hidrometalurgia (1.9%).

- Mina 17442O02, con una producción de 200 t/mes y una demanda de 523.8 m^3/mes (2.18 m^3/h ~ 0.6 l/s) distribuido entre concentración (36.6 %), clasificación (32.1 %), trituración (28.6 %) y clasificación (2.7 %), para una relación de 2.6 m^3/t.

- Planta de beneficio 17442O09, con una relación de 6 m3/t, una producción de 208 t/mes y una demanda hídrica de 1239.4 m3/mes (2 m3/h ~ 0.6 l/s) distribuida entre concentración (83.5 %), molienda (12.4 %) e hidrometalurgia (4 %).

- Planta de beneficio 17442O08, con una producción de 60 t/mes, una relación de 8.4 m3/t y una demanda de 505.6 m3/mes (0.7 m3/h ~ 0.2 l/s) distribuida entre concentración (79.8 %), molienda (12.1 %) e hidrometalurgia (8.1 %).

Gráfico 22. UPM que aplican solo tres procesos unitarios en el distrito minero de Marmato

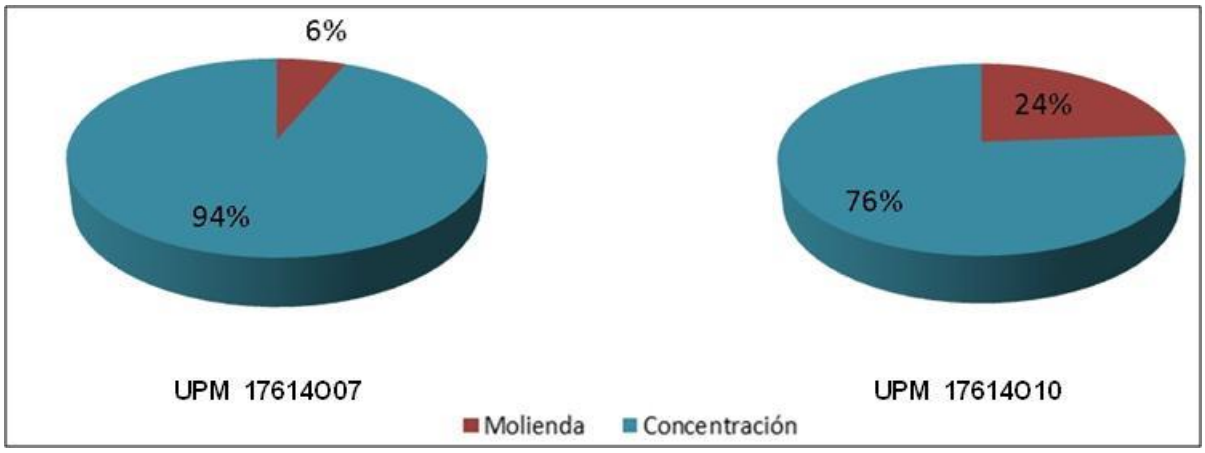


Las UPM 17442O08 y 17442O09 cuentan con tres procesos demandantes de agua: molienda, concentración y cianuración. La molienda es que más agua utiliza con más del 80 % en ambos casos, mientras que la cianuración es la que menor cantidad requiere. La trituración en estas dos unidades se realiza en seco y no cuentan con clasificación de material.

En el municipio de Riosucio se examinaron tres unidades de producción minera:

- Mina 17614O10, con una demanda hídrica de 491.1 m^3/mes (2.4 m^3/h ~ 0.7 l/s) distribuida entre concentración (76.2 %) y molienda (23.8 %), para una relación de 18.9 m^3/t que se constituye en la mayor de las UPM analizadas en el distrito minero.
- Mina 17614O06, con una relación de 13.8 m^3/t, una capacidad de 208 t/mes y una demanda hídrica de 2862.1 m3/mes (6.9 m3/h ~ 1.9 l/s) distribuida entre concentración (60.4 %), trituración (28.3 %), clasificación (10.7 %) y molienda (0.6 %).
- Mina 17614O07, con capacidad de 104 t/mes, demanda hídrica de 919.4 m3/mes (2.1 m3/h ~ 0.6 l/s) distribuidos entre concentración (93.7 %) y clasificación (6.3 %), para una relación de 8.8 m3/t.

Gráfico 23. UPM que aplican solo dos procesos unitarios en el distrito minero de Marmato

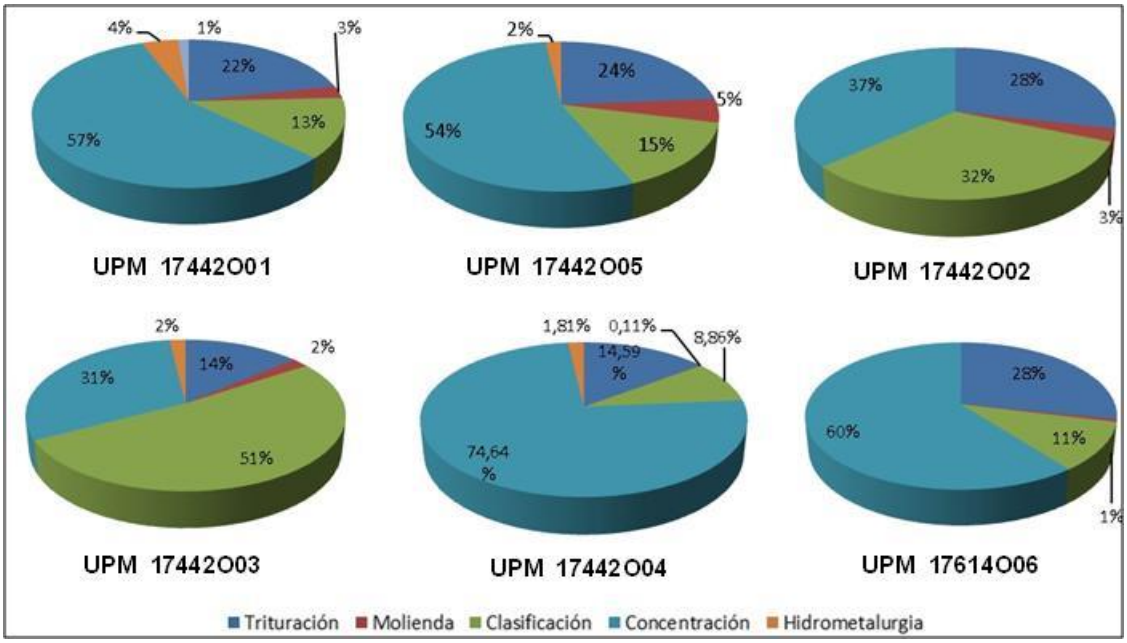


Las UPM 17614O10 y 17614O07 cuentan con dos procesos con dependencia hídrica para el beneficio del mineral, siendo la concentración el de mayor demanda con porcentajes de 77% y 94% respectivamente. Los porcentajes restantes corresponden a la molienda. En estas unidades no se realiza amalgamación ni cianuración debido a su ubicación dentro de un resguardo indígena donde no permite el uso de sustancias nocivas, por lo que las arenas provenientes de la concentración se procesan en unidades ubicadas fuera del resguardo.

El Gráfico 24 muestra la variabilidad de la demanda hídrica entre UPM que utilizan los mismos procesos unitarios en la etapa de beneficio. En las UPM 17442O03 y 17442O02 el material se pasa varias veces por el proceso de clasificación elevando la demanda hídrica. Las otras unidades utilizan mayores volúmenes de agua durante los procesos de concentración.

Las UPM 17442O01, 17442O03, 17442O05 y 17442O04 cuentan con el mismo esquema de beneficio consistente en trituración, molienda, clasificación, concentración, remolienda y cianuración. Las UPM 17442O02 y 17614O06 no implementan cianuración puesto que la primera no cuenta con la tecnología requerida y la segunda está localizada dentro de un resguardo indígena donde por norma está prohibido el uso de sustancias peligrosas.

Gráfico 24. UPM del distrito minero de Marmato con igual esquema en el beneficio del mineral



2.1.5 Distrito minero de Istmina (Choco)

Al igual que en los anteriores se utiliza aquí el concepto y el nombre del distrito minero de Istmina en el sentido de UPME (UPME, 2005 pág. 60)[113] y se adiciona el municipio de Río Quito a este según indicación de (Minminas, y otros, 2003 pág. 52)[114]. Este es un distrito caracterizado por explotaciones aluviales de metales preciosos realizadas con maquinaria pesada como excavadoras y buldóceres, al igual que por el uso de dragas de succión en los cauces activos.

Como se muestra en la siguiente tabla, fueron visitadas seis UPM en tres diferentes municipios; tres explotaciones aluviales distribuidas en los municipios de Condoto y Novita, ubicados en la cuenca del río San Juan y tres dragas en el municipio de Río Quito localizado en la cuenca del río Atrato.

[113] Op. Cit.
[114] Op. Cit.

Las UPM visitadas en este distrito minero presentan los valores más altos de demanda hídrica, tanto en operaciones de superficie como en las dragas, con respecto al resto de unidades evaluadas para el estudio.

La principal fuente de agua en la minería a cielo abierto es la precipitación que es almacenada en piscinas o jagüeyes desde donde se distribuye por mangueras de ocho pulgadas hacia el proceso de clasificación donde se reduce el diámetro de la tubería a tres o cuatro pulgadas para incrementar la presión para el lavado del material.

En las dragas el agua es succionada junto con el material de lecho en una proporción aproximada de 70 % - 30 % respectivamente. El 96 % del agua así obtenida es usada en el proceso de clasificación a donde es llevada por tubería de 14 y 16 pulgadas, y el 4 % restante en el proceso de pre-concentración.

El promedio de demanda hídrica de las tres minas aluviales es de 785.675 m^3/mes mientras que en las dragas de succión el promedio es de 220.172 m^3/mes. A continuación se describen las UPM por municipio.

Excepto para la UPM 27205O01 que cuenta con conexión al acueducto urbano, el abastecimiento para el consumo humano se realiza mediante la captación de agua de lluvia en tanques de hasta 2.000 litros, de donde se distribuye a los diferentes sitios de consumo.

Gráfico 25. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero de Istmina (Choco)

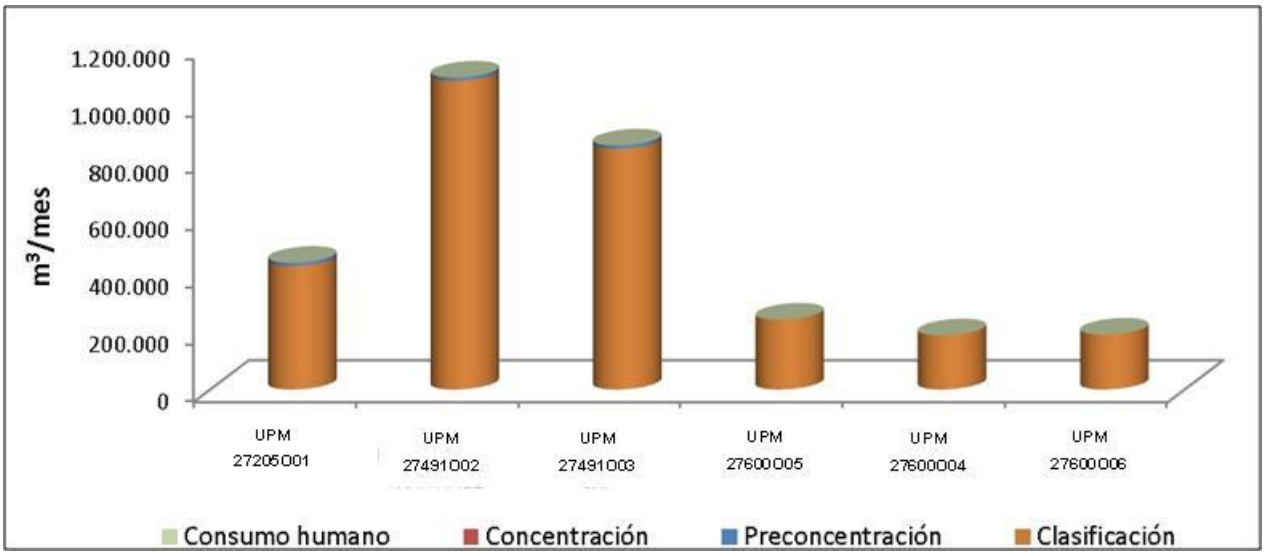


Tabla 43. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Istmina (Choco)

PROCESO	CONDOTO		NOVITA		RIO QUITO		
	UPM 27205O01		UPM 27491O02	UPM 27491O03	UPM 27600O05	UPM 27600O04	UPM 27600O06
Tipo de Agua	Lluvia - escorrentia (jagüey)	Acueducto	Lluvia - escorrentia (jagüey)	Lluvia - escorrentia (jagüey)	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Volumen Extraido de agua							
Trituración							
Molienda							
Clasificación	432.432,00		1.081.080,00	843.242,40	244.728,00	189.648,00	192.240,00
Preconcentración					11.245,26	11.245,26	11.245,26
Concentración	0,05		0,05	0,05	1,89	1,89	1,89
Hidrometalurgia							
Recuperación del Oro							
Fundición							
Supresión de polvo							
limpieza							
Consumo humano		59,40	148,50	61,92	50,31	58,05	50,31
Demanda hídrica (m^3/mes)	**432.491,45**		**1.081.228,55**	**843.304,37**	**256.025,46**	**200.953,20**	**203.537,46**
Toneladas Procesadas	154.192,9		615.585,5	533.744,6	283.883,8	218.565,4	226.102,2
Producción de oro	1.690,0		3.200,0	1.300,0	12.000,0	10.500,0	12.000,0
Dias laborados	26,0		26,0	26,0	30,0	30,0	30,0
Horas diaria Laboradas	22,0		22,0	22,0	20,0	20,0	20,0
Relación de demanda (m^3/t)	**2,80**		**1,76**	**1,58**	**0,90**	**0,92**	**0,90**

En el municipio de Condoto se visitó la mina 27205O01 que cuenta con una capacidad de procesamiento de 154.193 t/mes y una demanda de 432.491 m^3/mes (756.1 m^3/h ~ 210 l/s) correspondiente en su totalidad a la clasificación. Para una relación de 2.8 m^3/t.

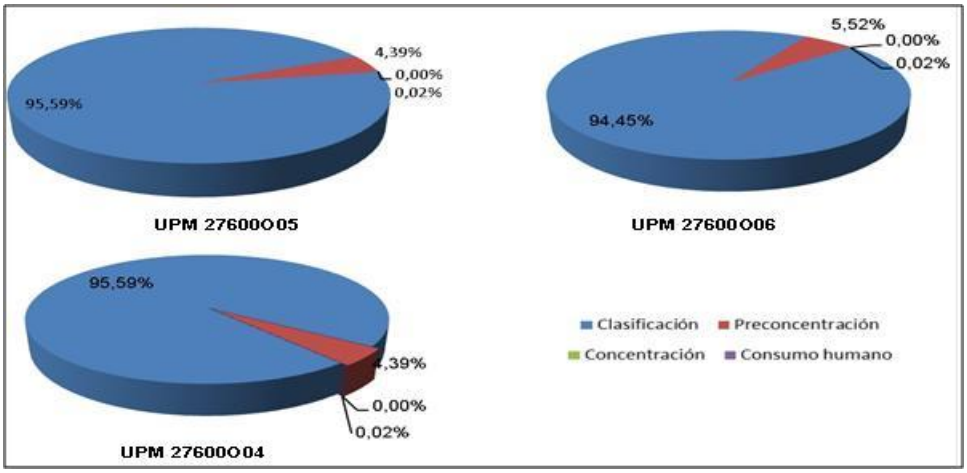
En el municipio de Novita se visitaron dos UPM, así:

- Mina 27491O02, con una relación de 1.76 m^3/t, una capacidad de 615.586 t/mes y una demanda de 1.081.229 m^3/mes (1.890,3 m^3/h ~ 525.1 l/s) correspondientes a la clasificación.
- Mina 27491O03, con una capacidad de procesamiento de 533.745 t/mes, una demanda de 843.304 m^3/mes (1.474,3 m^3/h ~ 409,5 l/s) usados en la clasificación. Para una relación de 1.58 m^3/t.

En el municipio de Río Quito, se analizaron tres dragas, así:

- Draga 27600O05, con capacidad para procesar 283.884 t/mes y demanda hídrica de 256.026 m^3/mes (426.7 m^3/h ~ 118.5 l/s) distribuidos entre clasificación (95.6 %) y pre-concentración (4.4 %). Para una relación de 0.90 m^3/t.
- Draga 27600O04, con una relación de 0.92 m^3/t, una capacidad de 218.565 t/mes y una demanda hídrica de 200.953 m^3/mes (334.9 m^3/h ~ 93 l/s) distribuida entre clasificación (94.4 %) y pre-concentración (5.6 %).
- Draga 27600O06, con una capacidad de procesamiento de 226.102 t/mes y con una demanda de 203.538 m^3/mes (339.2 m^3/h ~ 94.2 l/s) distribuidos entre clasificación (94.4 %) y pre-concentración (5.5 %). Para Una relación de demanda de 0.90 m^3/t.

Gráfico 26. UPM del departamento de Choco con esquema en el beneficio del mineral a través de Dragas de succiones en el distrito minero de Istmina (Choco)



Las mayores relaciones de demanda corresponden a la minería de superficie con un promedio de 2.05 m^3/t mientras que para las dragas es de 0.91 m^3/t. La alta relación de la minería a cielo abierto parece obedecer al uso de caudales excesivos en canalones con grandes deficiencias en su diseño tales como pendiente, trampas internas y fondo, lo que se observa en el promedio de recuperación que alcanza 231.4 t/g siendo de sólo 21.1 t/g para las dragas.

Como se describió anteriormente de total de la demanda acumulada en las seis UPM visitadas en el distrito de Istmina corresponde a clasificación (98.9%), pre-concentración y concentración (1.1%), es decir, que el 100 % corresponde a uso y no a consumo de agua. Adicionalmente, debido a que el agua extraída es pasada por los procesos y seguidamente es vertida a las fuentes de agua cercanas a la unidad se considera que las pérdidas o consumos son mínimos.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA MINERÍA AURÍFERA

El oro se encuentra principalmente en dos tipos de depósitos: vetiformes y de placeres, de acuerdo al estado en que se encuentre, ya sea diseminado en rocas o libre en depósitos de placer, dependiendo del tipo de depósito que se tenga, se emplea el tipo de minería: Aluvial, de superficie o subterránea y a su vez después de tener un estudio de las condiciones estructurales del mismo se procede a escoger el método de explotación.

Durante la fase de campo se recolecto información sobre las operaciones unitarias, en las unidades de producción visitada, y particularmente las tecnologías que utilizan.

2.2.1 Distrito minero del Nordeste antioqueño

Aunque en estos distritos coexiste la minería aluvial con la filoniana, se visitaron unidades productivas mineras que desarrollan actividades subterráneas sobre filones auríferos. Las dos minas estudiadas en Zaragoza utilizan martillos neumáticos y explosivos para el arranque, vagonetas y skip para el transporte interno, ventilación mecánica y bombas para la extracción de aguas de infiltración; para el beneficio utilizan tambores en paralelo. Los entables revisados en Segovia compran el material proveniente de los alrededores de las minas El Silencio y Providencia para realizar su beneficio.

Debido a la similitud de las vetas explotadas, y en ausencia de estudios metalúrgicos, estas cinco UPM se realizan operaciones unitarias similares como molienda en barriles (cocos) amalgamadores durante tres o cuatro horas según la dureza del material, seguida de cianuración por agitación en la mina 05895O01 y el entable 05736O03 mientras que en la mina 05895O02 es por percolación. Debido a los bajos tenores Las minas 05736O05 y La 05736O04 comercializan el producto de la molienda.

De las UPM estudiadas, sólo el entable 05736O03 cuenta con todas la operaciones unitarias para la recuperación incluido el proceso Merril Crowe que precipita el oro usando polvo de cinc para luego ser fundido en los hornos del mismo entable. Adicionalmente, es el único que utiliza retortas y recupera el mercurio. Actualmente se está instalando una mesa Wilfley, un molino de bolas y celdas de flotación.

Tabla 44. Proceso de extracción y beneficio en el distrito minero del Nordeste antioqueño

ETAPA	PROCESOS	ZARAGOZA		SEGOVIA		
		UPM 05895O01	UPM 05895O02	UPM 05736O05	UPM 05736O03	UPM 05736O04
Extracción	Tipo de Mina	Subterránea	Subterránea	N/A	N/A	N/A
	Método de Explotación	Tambores Paralelos	Tambores Paralelos	N/A	N/A	N/A
	Tecnologías Usadas	Martillos Neumáticos	Martillos Neumáticos			
		Explosivos (Anfo e Indugel)	Explosivos (Anfo e indugel)			
		Vagonetas	Skip + Carretas			
		Ventilador	Ventilador			
		Bombas***	Bombas***			
Beneficio	Trituración	Trituradora de Quijada				
	Molienda	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores
		Molino de Bolas				
	Clasificación					
	Pre concentración					
	Concentración	Marrana	Mesa Wilfley	Concentrador Gravimétrico Artesanal (Marrana)	Concentrador Gravimétrico Artesanal (Marrana)	Concentrador Gravimétrico Artesanal (Marrana)
		Mesa Wilfley				
	Hidrometalurgia	Cianuracion por agitación	Cianuracion por percolación	Cianuración*	Cianuración por agitación**	Cianuración*
	Recuperación del Oro				Proceso MERRIL CROWE	
	Fundición				Retorta	
					Horno	

	Uso de agua
	Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento
	No usa agua
*	Estos lodos los vendes para cianurarlos y recuperar el oro que contienen
**	Solo se realiza una vez por semana
***	Estos equipos se encargan de extraer el agua de los socavones
****	Este proceso solo usa agua en la etapa de clarificación y es la proveniente de la cianuración

2.2.2 Distrito minero de San Martín de Loba

La mayoría de las operaciones visitadas en esta región utilizan el método por guías que consta de un túnel vertical o inclinado de acceso a partir del cual se desprenden las guías siguiendo la mineralización. Para la perforación utilizan martillos neumáticos o eléctricos y para la voladura Anfo, Indugel o pólvora blanca según el grado de tecnificación. Cuentan con ventiladores y bombas para desagüe. Dada la competencia de la roca encajante no se utiliza ningún tipo de sostenimiento excepto en los primeros metros del acceso.

Las minas 13300O09, 13490O02, 13030O05 y 13667O10 ejecutan la amalgamación dentro de barriles, conocidos como cocos, previa conminución en molinos californianos o trituradoras de quijadas. En los sectores de Los Entables, en cercanías a UPM 13667O04, y UPM 13030O06 la maquinaria de los entables es alquilada para beneficiar el material proveniente de las explotaciones circundantes.

En algunos casos excepcionales, las UPM cuentan con planta de beneficio relativamente tecnificada donde se ejecutan operaciones unitarias de conminución, clasificación, concentración y lixiviación implementando cianuración, para recuperar posteriormente el oro mediante precipitación con polvo o viruta de cinc. Así mismo, en una unidad de producción en particular, aquella con la mayor capacidad de procesamiento instalada, el producto final de la concentración es un concentrado proveniente del rebose de celdas de flotación espumante que se acopia, empaca y despacha posteriormente.

Las diferencias entre el tamaño de las operaciones, el grado de tecnificación, junto con los equipos e insumos utilizados, obedecen en gran medida a la disponibilidad de capital de inversión. Este es una limitante para llevar a cabo estudios de exploración, contratar consultoría y asesoría, adquirir equipos, capacitar al personal de operación. Carencias que reducen la productividad y eficiencia de los procesos llevados a cabo.

Finalmente, dos temas que generan inquietud son: por un lado los impactos ambientales no controlados ni cuantificados que se generan a partir de la utilización de mercurio y de los vertimientos provenientes de la UPM, y por otro, cuanto recurso de mineral aurífero se va en las colas de los procesos, puesto que la amalgamación solo permite la recuperación de un porcentaje relativamente bajo del tenor contenido en las vetas.

Tabla 45. Proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)

ETAPA	PROCESOS	ALTOS DEL ROSARIO			HATILLO DE LOBA	NOROSI			SAN MARTIN DE LOBA							
		UPM 13939006			UPM 13936009	UPM 13490002			UPM 13490091	UPM 13667010	UPM 13667007	UPM 13667008	UPM 13667003	UPM 13667004		
		Entable 1	Entable 2	Entable 3	Sitio de recuperación de Oro		Entable No 1	Entable No 2						Entable No 1	Entable No 2	Entable No 3
Extracción	Tipo de Mina	N/A			Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	N/A	N/A	N/A
	Método de Explotación				Tajeos en diagonal sin relleno	Por Gulas			Por Gulas	Por Gulas		Por Gulas	Por Gulas			
	Tecnologías				No se tiene la información	Martillos Neumáticos Explosivos (Anfo base de clorato) Malacate Ventilador Bomba de desagüe	Martillos Neumáticos Explosivos (Anfo base de clorato) Malacate Ventilador Bomba de desagüe	N/A	Taladros eléctricos Explosivos (Indugel) Ventilador Malacate Bomba de desagüe	Martillos neumáticos Explosivo a base de clorato Ventilador Malacate Bomba de desagüe	No se tiene la información	Taladro eléctrico Indugel Ventilador Moto-vagon + Malacate Bomba de desagüe	Martillos neumáticos ANFO + Indugel Ventilador Malacate Bomba de desagüe	N/A	N/A	N/A
Beneficio	Trituración		Trituradora de Quijadas		Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada			Trituradora de Quijada		Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada		Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada
	Molienda	Molino Californiano Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores Molino de Bolas	Cocos amalgamadores	Molino Californiano Cocos amalgamadores		Molino Californiano Cocos amalgamadores	Molino de bolas Cocos remoledores	Molino de Bolas	Molino de Bolas	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores
	Clasificación				batea	batea	batea			Zaranda Tromel	Tromel Helicoidal	Tromel				
	Pre concentración	Tapetes de recolección de oro libre					Tapetes de recolección de oro libre		Tapetes de recolección de oro libre							
	Concentración	batea			Concentración gravimétrica (Ki-Nelson) Concentración gravimétrica (Mesa vibratoria)		Mesa Wilfley	batea		JIG Mesa Wilfley	Celdas de Flotación	Mesa Wilfley		Batea	Batea	Batea
	Hidrometalurgia	Cianuración por percolación			Cianuración por percolación	Cianuración por percolación	Cianuración por Agitación		Cianuración por agitación				Cianuración por agitación			
	Recuperación del Oro						Cantificación						Merril Crowe (proceso químico)			
	Fundición															
	Uso de agua															
	Cuentan con el equipo pero no esta en funcionamiento															
	No usa agua															
	*	Se usa para extraer el agua del socavón														

2.2.3 Distrito minero del Tambo (Cauca)

Las excavaciones subterráneas inspeccionadas constan de combinaciones de cruzadas, túneles verticales o inclinados y guías que siguen la dirección de las vetas. Para la perforación se utilizan martillos neumáticos o eléctricos y para la voladura explosivos como Anfo e Indugel. Se cuenta con ventiladores y bombas para el desagüe. En el sostenimiento se emplea madera y arcos de acero.

Excepto en dos UPM, en el resto de las visitadas el material se procesa en trituradoras de quijadas, molinos de bolas o de martillos, para luego amalgamar y posteriormente cianurar por agitación el concentrado. En aquellos casos en que la UPM no cuenta con los equipos requeridos se comercializa las arenas residuales para reprocesos.

En términos de beneficio los extremos están representados por la UPM 19110O03, la de mayor capacidad de procesamiento (200 t/día), que cuenta con un proceso continuo y tiene el mayor grado de tecnificación observado; y la UPM 19622O10 donde solo se utiliza molinos amalgamadores para procesar el material obtenido en la mina más rudimentaria de las visitadas.

Buena parte de las unidades visitadas están establecidas bajo el amparo de cooperativas de mineros. Tienen cierto grado de organización, lo que podría facilitar el acceso a capital y en consecuencia la capacidad inversión en el mejoramiento de los procesos. Así mismo, el apoyo de entidades del Estado en la capacitación de trabajadores y asesorías, es una herramienta de provecho.

2.2.4 Distrito minero de Marmato (Caldas)

Las tecnologías en las UPM estudiadas en los municipios de Marmato y Riosucio son similares y utilizan martillos, neumáticos o eléctricos, pólvora blanca para el arranque en los frentes de trabajo, ventiladores, bombas para desagüe y, finalmente, madera y arcos de acero para el sostenimiento.

En las minas de Riosucio (17614O10, 17614O07 y 17614O06) la conminución se hace con trituradoras de quijadas y molinos de bolas, tanto continuos como “cocos”, para una posterior concentración gravimétrica. El concentrado se lava en bateas y el resto se comercializa en Marmato donde es reprocesado puesto que estas UPM están ubicadas dentro de resguardos indígenas donde por norma interna se prohíbe el uso de mercurio y cianuro.

Las UPM estudiadas en Marmato hacen conminución, clasificación y concentración de material, el concentrado suele ser remolido para aumentar el grado de liberación del oro

para posteriormente ser lavado en batea antes de someterlo a cianuración junto con el acopio de la semana, la precipitación se hace con polvo de cinc. Sólo en la UPM 17442O02 el proceso sólo llega a la concentración gravimétrica. En las UPM visitadas en este municipio se omiten las etapas de desoxigenación del licor y el paso por el filtroprensa en el proceso de Merril Crowe para recuperación del oro. Esto reduce la efectividad del proceso pues un porcentaje considerable de oro queda en la solución reduciendo la recuperación.

Tabla 46. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero del Tambo

ETAPA	PROCESOS	BUENOS AIRES			EL TAMBO			ROSAS	SUAREZ	
		UPM 19110O03	UPM 19256O09	UPM 19256O07	UPM 19256O06	UPM 19256O08	UPM 19622O10	UPM 19780O01	UPM 19780O02	UPM 19110O03	UPM 19256O09
Extracción	Tipo de Mina	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea		Subterránea	Subterránea	Subterránea
	Método de Extracción	Por guías	Por guías	Minado con almacenamiento dinámico	Por guías	Por guías	Ensanche de Tambores	N/A	Por guías	Por guías	Por guías
	Tecnologías usadas	Martillos neumáticos	Martillos neumáticos	Martillos neumáticos	Martillos neumáticos	Taladro eléctrico	Martillos neumáticos	N/A	Pico y pala	Taladro eléctrico	Martillos neumáticos
		Indugel	Indugel	ANFO + Indugel	Indugel	Indugel	Indugel			Indugel	Indugel
		Ventilador	Ventilador	Ventilador	Ventilador	Ventilador	Ventilador			Ventilador	Ventilador
		Malacate	Malacate + vagones	Malacate + vagones + Pala mecánica	Malacate + vagones	Malacate	Malacate + vagones		Ventilador	Malacate	Malacate
			Bomba*	Bomba*	Bomba*	Bomba*	Bomba*				Bomba*
Beneficio	Trituración	Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada	Trituradora de Quijada			Trituradora de Quijada				
				Trituradora de Impacto							
	Molienda	Molino de Bolas	Molino de Bolas	Molino de Bolas	Molino de Martillo	Molino de Martillo	Molino de Martillo	Molino de Martillo	Cocos amalgamadores	Molino de Martillo	Molino de Martillo
			Molino Chileno		Molino de Bolas		Molino de Bolas				
		cocos amalgamadores	cocos amalgamadores	Molinos remoledores	Cocos remoledores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores		Cocos amalgamadores	Cocos amalgamadores
	Clasificación	Tromel	Canalones	Hidrociclon	Tromel	Zaranda	Zaranda				
					Zaranda						
	Pre concentración										
	Concentración	Mesa Wilfley	Mesa Wilfley	JIG	Mesa Wilfley	Balde de Precipitado	Mesa Wilfley	Balde de Precipitado	Balde de Precipitado	Marrana	Marrana
		Marrana	Marrana	Hidrociclon			Marrana				
				Celdas de Flotación							
	Hidrometalurgia		Cianuracion por percolación	Cianuracion por agitación	Cianuracion por agitación	Cianuracion por agitación	Cianuracion por agitación	Cianuracion por agitación			
				Espesador							
	Recuperación del Oro		Merril Crowe (Proceso químico)	Merril Crowe (Proceso químico)	Merril Crowe (Proceso químico)	Merril Crowe (Proceso químico)	Merril Crowe (Proceso químico)	Merril Crowe (Proceso químico)			
	Fundición										

Uso de agua
Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento
No usa agua
* Se usa para extraer el agua del socavón

Tabla 47. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de Marmato.

ETAPA	PROCESOS	MARMATO UPM 17442O01	UPM 17442O05	UPM 17442O04	UPM 17442O03	UPM 17442O02	UPM 17442O09	UPM 17442O08	RIO SUCIO UPM 17614O10	UPM 17614O06	UPM 17614O07
Extracción	Tipo de Mina	Subterránea	N/A	Subterránea	N/A	Subterránea	N/A	N/A	Subterránea	Subterránea	Subterránea
	Método de Extracción	Tambores Paralelos							Por guías	Por guías	Por guías
	Tecnologías usadas	Martillos neumáticos	N/A	La información no pudo ser recolectada	N/A	La información no pudo ser recolectada	N/A	N/A	Taladros eléctricos	Taladros eléctricos	Taladros eléctricos
		Explosivo a base de clorato							Explosivo a base de clorato	Explosivo a base de clorato	Explosivo a base de clorato
		Ventilador							Ventilador	Ventilador	Ventilador
		Vagón							Vagón	Malacate	Malacate
									Bombas***		
Beneficio	Trituración	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas
	Molienda	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molino de bolas*	Molinos de bolas	Molino de bolas*	Molinos de bolas
		Molino remoledor	Molino remoledor	Molino remoledor	Molino remoledor					Molino remoledor	
	Clasificación	Trommel	Trommel	Trommel	Trommel	Trommel				Trommel	
	Pre concentración										
	Concentración	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley	Mesa wilfley
		Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea
	Hidrometalurgia	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación		Cianuración por agitación	Cianuración por agitación			
	Recuperación del Oro	Merril Crowe (Proceso químico)**	Merril Crowe (Proceso químico)**	Merril Crowe (Proceso químico)**	Merril Crowe (Proceso químico)**		Merril Crowe (Proceso químico)**	Merril Crowe (Proceso químico)**			
	Fundición										

	Uso de agua
	Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento
	No usa agua
*	Utiliza el agua con el que sale el material de la trituración
**	De este proceso solo se aplican las etapas de clarificación y Precipitado con Zinc

2.2.5 Distrito minero de Istmina (Choco)

Las UPM visitadas reflejan dos tipos de explotación que se diferencian en el tipo de material a recuperar y la maquinaria utilizada: dragado aluvial y cielo abierto.

Tres de las UPM examinadas (27600O05, 27600O06 y 27600O04) utilizan dragas de succión para remover el lecho aluvial y llevarlo hasta una clasificadora o canalón donde se beneficia el oro por gravedad, mientras dos excavadoras perfilan los cargueros dejados en el proceso. Esta técnica está muy difundida a lo largo del río Quito. En definitiva se implementan tres operaciones unitarias: clasificación y concentración en el canalón o la clasificadora que en la parte superior tiene una malla con una abertura de una pulgada, el material que pasa la malla cae a un tapete que concentra el material enriquecido que será sometido a amalgamación en baldes y utilizando retortas para recuperación del mercurio.

Las otras tres UPM (27205O01, 27491O03 y 27491O02) utilizan excavadoras y buldóceres para descapotar y remover depósitos antiguos de llanura aluvial ricos en oro y platino. El material arrancado es llevado a canalones en forma de Z para clasificación, las colas son perfiladas con buldóceres en sistemas de retrollenado. Se utilizan bombas de desagüe para retirar las aguas de infiltración, escorrentía y precipitación recibidas dentro del corte y conducirlas a piscinas sedimentadoras para posteriormente recircularlas hacia los canalones. La UPM 27491O03 utiliza una bomba draga para bombear líquidos y sólidos a la piscina de sedimentación sin recirculación posterior. En conclusión, estas unidades sólo utilizan concentración gravimétrica, primero en canalón y luego en batea.

Tabla 48. Proceso de extracción y beneficio de oro en el distrito minero de Istmina (Chocó)

ETAPA	PROCESOS	CONDOTO	NOVITA		RIO QUITO		
		UPM 27205001	UPM 27491002	UPM 27491003	UPM 27600005	UPM 27600004	UPM 27600006
Extracción	Tipo de Mina	A cielo abierto	A cielo abierto	A cielo abierto	Dragas	Dragas	Dragas
	Método de Extracción	Terrazas aluviales	Terrazas aluviales	Terrazas aluviales	Dragado	Dragado	Dragado
	Tecnologías	Excavadoras-Retroexcavadoras	Excavadoras-Retroexcavadoras	Excavadoras-Retroexcavadoras	Dragas de succión	Dragas de succión	Dragas de succión
		Buldócer	Buldócer	Bomba-Draga*	Excavadoras-Retroexcavadoras	Excavadoras-Retroexcavadoras	Excavadoras-Retroexcavadoras
		Bombas*	Bombas*				
Beneficio	Clasificación	Canalón en Z	Canalón en Z	Canalón en Z	Canalón	Canalón	Canalón
	Trituración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Molienda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Pre concentración	N/A	N/A	N/A	Piscinas de lavado de tapetes	Piscinas de lavado de tapetes	Piscinas de lavado de tapetes
	Concentración	Batea	Batea	Batea	Baldes de Amalgamación	Baldes de Amalgamación	Baldes de Amalgamación
	Hidrometalurgia	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Recuperación del Oro	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Fundición	N/A	N/A	N/A	Quema de amalgama	Quema de amalgama	Quema de amalgama

Uso de agua
Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento
No usa agua
* Para extracción de agua del frente de trabajo

3. MINERÍA DE CARBÓN

Para el caso de la minería de carbón se escogieron los distritos mineros de La Jagua de Íbirico (DNP, 2005 pág. 6) constituido como el principal productor de carbón térmico del país y Zipa – Samacá (UPME, y otros, 2007)como el mayor productor de carbón metalúrgico y el tercer productor de carbón después de los distritos de La Jagua de Íbirico y Barrancas en La Guajira.

A continuación una breve descripción de la zona (departamento, municipios y cuencas hidrográficas) de la zona de afectación de la UPM

Distrito minero Zipa - Samaca

En el departamento de Cundinamarca se visitaron UPM que se encuentran ubicados en los municipios de Guachetá, Lenguazaque y Cucunubá. Estos municipios se caracterizan por presentar un clima frío a muy frío, con temperaturas menores de 18°C, precipitación entre los 501 mm y 1000 mm por año, excepto en Guachetá en la localización de la UPM 25317C06, que puede alcanzar precipitaciones de hasta 2000 mm por año[115], se encuentran ubicados en la provincia Norandina[116]. El municipio de Guachetá tiene cobertura de pastos y vegetación secundaria. La vegetación secundaria, se caracteriza por ser de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, se encuentran rastrojos y cobertura vegetal. La cobertura de pastos, es de especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas. Pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados. En Lenguazaque la vegetación es secundaria, de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano y en el municipio de Cucunubá la cobertura es de pastos y áreas agrícolas heterogéneas. En cuanto a la cobertura de pastos son especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas, pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados y la cobertura de áreas agrícolas heterogéneas presentan mezcla de diferentes tipos de cultivos, a manera de mosaicos de cultivos anuales y permanentes; pastos y cultivos; cultivos, pastos y espacios naturales[117].

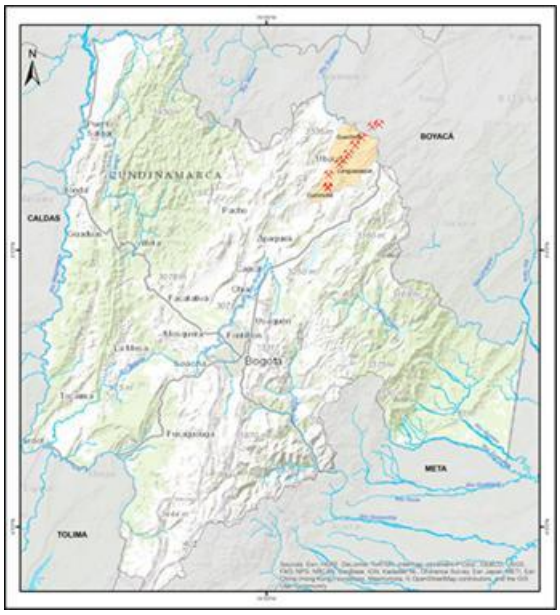
[115] IGAC, INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT (2008).
[116] Ibíd.
[117] Ibíd.

En el departamento de Boyacá las UPM se encuentran en los municipios de Ráquira y Samacá. Estos municipios se caracterizan por presentar un clima muy frío, con temperaturas inferiores a los 12°C, en Ráquira las precipitaciones van de 1001 mm a 2000 mm por año y en Samacá las precipitaciones van de 501 mm a 1000 mm por año[118], se encuentran ubicados en la provincia Norandina[119]. En estos municipios la cobertura es de pastos, obedecen a especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas, pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados[120].

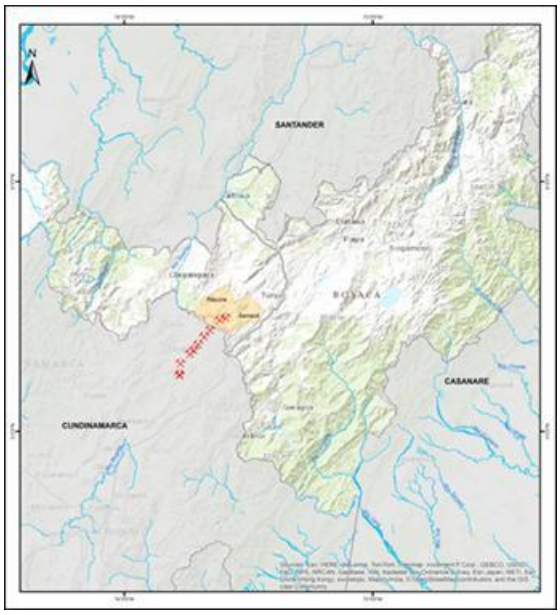
Estas UPM's visitadas pertenecen al distrito minero de Zipa-Zamaca en el sentido de UPME (2005 pág. 38) UPME & Muñoz (2007) y Gobernación de Cundinamarca (2010 pág. 52), y a su vez a la cuenca hidrográfica del Río Sogamozo compuesta por los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez, del área hidrográfica del Magdalena-Cauca. De acuerdo con el IDEAM (2015), bajo las condiciones de año seco en Colombia, la cuenca del río Sogamoso "presentan rendimientos menores a 10 l/s/km^2". Entiéndase este rendimiento, como la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Sogamoso, es decir la cantidad de agua por cada km^2 de superficie en un intervalo de 1 segundo es menor a 10 litros de agua, este valor representa uno de los rendimientos más bajos para un año seco en el país. Así mismo, según IDEAM (2015) estable que rio Sogamoso "representa el 6,4% de la oferta hídrica de toda la cuenca", es decir el 6,4% del volumen de agua del área hidrográfica del Magdalena-Cauca es aportado por el río Sogamoso.

[118] IGAC, INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT (2008).
[119] Ibíd.
[120] Ibíd.

Ilustración 4. Municipios seleccionados en el distrito minero Zipa - Samacá



Cuncunuba, Guachetá, Lenguazaque



Ráquira y Samaca

La cuenca hidrológica del Río Sogamoso de acuerdo con IDEAM (2015) en la tabla de valores por subzona de oferta y calidad de agua, la cuenca tiene una extensión de 3409 km^2, con una oferta total de 3632 Mm^3 y 1752 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. De acuerdo a que se debe garantizar el volumen de agua para los ecosistemas, la oferta disponible del río Sogamoso es de 2185 Mm3 y 1050 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. El caudal del río Sogamoso varía entre 55,6 m3/s y 115,2 m^3/s, el rendimiento hídrico para un año seco es de 15 $l/s/km^2$ y para un año medio es de 34 $l/s/km^2$, es decir 34 litros de agua por cada km^2 de superficie en un intervalo de 1 segundo. Los valores de escorrentía varían 514 mm y 1065 mm para un año seco y medio respectivamente. En cuanto a las características fisicoquímicas del río Sogamoso, la carga de químicos DQO-DBO5 es de 336 t/año y SST de 833 t/año.

Adicionalmente, a la cuenca del río Sogamoso se le estimaron datos para análisis del recurso hídrico por condiciones de uso, contaminación y variabilidad, se consideraron los indicadores que en conjunto dan cuenta del estado y de las afectaciones de las condiciones naturales del agua (indicadores de presión, calidad y presión por contaminación y vulnerabilidad), de acuerdo con IDEAM (2015), el río Sogamoso tiene un índice de regulación y retención hídrica –IRH- de 70,6% de carácter Moderada, el índice de uso de agua –IUA-, representa la relación de la demanda hídrica sectorial sobre la oferta hídrica superficial, para un año medio es de categoría Baja con un valor de 5,05 y 10,48 para un año seco, categoría Moderado. El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico –IVH- es Baja.

En cuanto al Índice de alteración potencial de la calidad del agua – IACAL- varía entre 2 y 2.8 para un año medio y seco respectivamente, la categoría es de muy baja a baja, lo cual refleja una baja alteración de la calidad del agua. El Índice de presión hídrica a los ecosistemas -IPHE- que refleja una posible vulnerabilidad al aprovechamiento hídrico está en categoría crítica con un valor de 0,725, el Índice de agua no retornada a la cuenca- IARC- que corresponde a la relación entre huella hídrica azul y la oferta hídrica disponible es de 0,016 en categoría muy bajo y el Índice de eficiencia en el uso del agua –IEUA- es de 0,356 con categoría moderado.

Distrito minero de Amagá

El municipio de Titiribi, localizado en la región suroeste de Antioquia, con altura sobre el nivel del mar en la cabecera municipal de 1550 metros, limitando por el norte con el municipio de Armenia mantequilla, por el sur con el municipio de Venecia, por el oriente con los municipios de Angelópolis y Amaga, y por el occidente con el municipio de Concordia, tiene una extensión de 142 km^2 y temperatura media de 21°C.

El municipio pertenece al distrito minero carbonífero Amagá, al cual también pertenecen los municipios de Venecia, Amagá, Angelópolis y Fredonia.; en este distrito se encuentran los yacimientos que reportan mayor producción, los cuales están ubicados en la cuenca carbonífera de la Sinifaná; se estima que en estas áreas se cuenta con reservas de 160 millones de toneladas para ser explotadas. “Alrededor del 75% de la producción de carbón de este distrito se destina al consumo del departamento de Antioquia, principalmente en la industria productora de cemento y en empresas del sector textil. Alrededor de un 24% se destina a satisfacer las necesidades de la industria del valle del cauca y el volumen restante se exporta por buenaventura”.

Titiribí hace parte de la Zona hidrográfica del rio cauca en la parte donde se encuentran las veredas el morro y parte de la vereda el balsal. En esta zona, el río cauca recibe las aguas de la quebrada El Algarrobo con sus afluentes La Florcita y El Morro, la quebrada Campanas y la quebrada La Sucia; estas fuentes de agua tienen pendientes muy fuertes y presentan desprendimientos en sus lechos; esta parte de la cuenca del río Cauca es donde se presentan los procesos erosivos más severos del municipio de Titiribí.

La zona hidrográfica del rio cauca cuenta con una disponibilidad de agua verde (DAV) de 40492 Mm^3, con Huella Hídrica Verde pecuaria de 15228, 4 Mm^3, HH Verde agrícola de 11950, 9 Mm^3 y HH Azul agrícola de 946, 6 Mm^3.

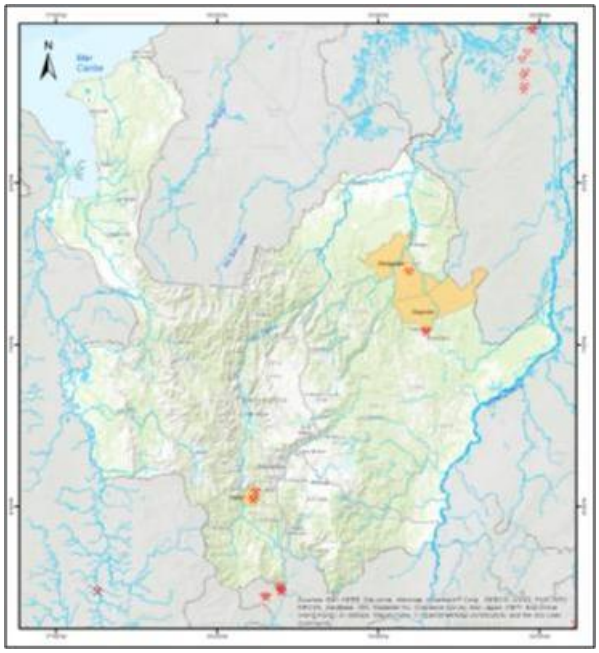
Este municipio, además, hace parte de la subcuenca quebrada sinifaná. El caudal de la quebrada sinifaná, disminuye en épocas de verano, abastece en su gran mayoría a la población rural y su uso básico es doméstico, agrícola, pecuario y minero. La tradición minera derivada de la explotación de carbón ha generado la conformación de centros

poblados en zonas con evidentes problemas de inestabilidad geológica y con una débil calidad de la vivienda para los municipios provocando una problemática de carácter social y ambiental.

Según información del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Titiribí, “el acueducto municipal se abastece de las quebradas La Zulia, El Retiro, Los Amayas y quebrada del Medio; los aforos promedios de estas fuentes son en su orden: 20 lt/s, 4 lt/s, 8 lt/s y 8 lt/s para un total de 40 lt/s. en las épocas de verano se recurre a la quebrada de Charco Hondo”

En base a ENA 2014, sobre las fuentes hídricas que abastecen la cabecera municipal se ejerce una demanda hídrica anual de 0,469 Mm^3; presentan además un IRH (Índice de regulación hídrica) moderado. En condiciones hidrológicas medias, la oferta anual (x 1000 m^3) es de 19,29, oferta anual disponible (x1000 m^3) es de 8,45, el IUA (Índice de uso de agua) bajo, el IVH (Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico) bajo y en condiciones hidrológicas secas presenta una oferta anual (x1000 m^3) de 10,51, oferta anual disponible (x1000 m^3) de 4,61, con un IUA (Índice de uso de agua) moderado y un IVH (Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico) medio .

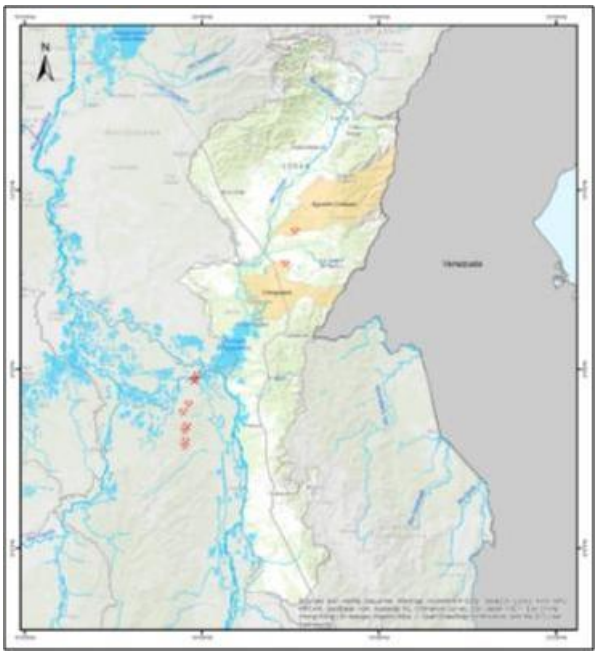
Ilustración 5. Municipios visitados en el distrito minero Amagá



Distrito minero de La Jagua

Las minas carboníferas visitadas obedecen aquellas localizadas en el departamento del Cesar, se visitaron dos UPM, se caracterizan por pertenecer al distrito minero de La Jagua, su paisaje es de piedemonte y planicie y pertenecen a la cuenca hidrológica del Río Cesar.

Ilustración 6. Municipios visitados en el distrito minero La Jagua



En el departamento de Cesar se visitaron 2 minas que se encuentran ubicados en los municipios de Chiriguaná y Agustín Codazzi, quienes pertenecen al distrito minero de La Jagua en el sentido de UPME (2005 pág. 23). Estos municipios se caracterizan por presentar un clima cálido – seco, con temperaturas superiores a 24°C, precipitación entre los 1001 mm y 2000 mm por año , se encuentran ubicados en el cinturón Árido Caribeño. El municipio de Chiriguaná tiene cobertura de pastos, especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas. Pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados. El municipio de Agustín Codazzi tiene coberturas de áreas agrícolas heterogéneas, estas áreas presentan mezcla de diferentes tipos de cultivos, a manera de mosaicos de cultivos anuales y permanentes; pastos y cultivos; cultivos, pastos y espacios naturales.

Las unidades litológicas que contienen el carbón en esta zona, se relacionan con las formaciones Los Cuervos y Cerrejón. Los carbones se clasifican como Bituminosos Altos en Volátiles Tipo C, óptimos para usos térmicos. Por su interés económico, las estructuras del nororiente La Jagua de Ibirico que se extienden hacia el occidente hasta el corregimiento de La Loma, son las más importantes. Entre estas se destacan los sinclinales de la Jagua de Ibirico y La Loma y los anticlinales que los acompañan. El sinclinal de la Jagua está formado por arcillolitas y areniscas de la Formación Los Cuervos. El sinclinal de la Loma afecta la secuencia de areniscas de grano grueso y conglomerados de la formación Cuesta.

De acuerdo con el anteriormente llamado Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS- hoy Servicio Geológico Colombiano, “La secuencia terciaria se limita al oriente por una falla paralela a la de Arenas Blancas que la pone en contacto con sedimentos del jurásico; al occidente, la falla Chorro Pital afecta la Formación Cuesta y constituye el límite estructural de la cuenca carbonífera de interés económico de la Jagua de Ibirico-La Loma”.

La cuenca hidrológica del Río Cesar, pertenece a la zona hidrográfica de Cesar del área hidrográfica del Magdalena-Cauca. De acuerdo con IDEAM (2015), la cuenca del río Cesar “Presenta los menores rendimientos hídricos, con valores inferiores a los 15 l/s/km^2 y una escorrentía entre 35mm/ año y 500 mm/año”.

La cuenca hidrológica del río Cesar de acuerdo con IDEAM (2015), tiene un área aproximada de 22.930 km^2, con un caudal promedio de 254 m^3/s y 59 m^3/s para año medio y seco respectivamente, esta cuenca tiene una oferta anual de 8.000 Mm^3 y 1.869 Mm^3 para año medio y seco respectivamente. La escorrentía para un año medio es de 349 mm/año y en año seco de 81 mm/año.

Respecto a las fuentes de agua subterráneas, IDEAM (2015) establece que “se tiene que los Sistemas Acuíferos de la Alta y Media Guajira, Ranchería, Santa Marta, Turbaco, Ariguaní, Cesar, Morroa, entre otros deben ser interés prioritario para aumentar el conocimiento sobre la dinámica y el funcionamiento de los mismos”. En relación a las presiones del agua por el sector minero, IDEAM (2015) establece que “El sector minero ejerce las mayores presiones por uso de agua en las subzonas de los ríos: Bajo Nechí, Ranchería, Medio Cesar, Bajo Cesar y Quito con el 36% del uso total del sector”.

Subcuenca Alto Cesar

La subcuenca hidrológica del alto Cesar de acuerdo con IDEAM (2015) en la tabla de valores por subzona de oferta y calidad de agua, la cuenca tiene una extensión de 3442 km^2, con una oferta total de 1059 Mm^3 y 460 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. De acuerdo a que se debe garantizar el volumen de agua para los

ecosistemas, la oferta disponible es de 880 Mm^3 y 382 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. El caudal del alto cesar varía entre 33,6 m3/s y 14,6 m3/s, el rendimiento hídrico para un año seco es de 14 $l/s/km^2$ y para un año medio es de 10 $l/s/km^2$, es decir 10 litros de agua por cada km^2 de superficie en un intervalo de 1 segundo. Los valores de escorrentía varían 308 mm y 134 mm para un año seco y medio respectivamente. En cuanto a las características fisicoquímicas del alto Cesar, la carga de químicos DQO-DBO5 es de 1126 t/año y SST de 1584 t/año.

Adicionalmente, a la subcuenca del alto Cesar se le estimaron datos para análisis del recurso hídrico por condiciones de uso, contaminación y variabilidad, se consideraron los indicadores que en conjunto dan cuenta del estado y de las afectaciones de las condiciones naturales del agua (indicadores de presión, calidad y presión por contaminación y vulnerabilidad), de acuerdo con IDEAM (2015), el alto Cesar tiene un índice de regulación y retención hídrica –IRH- de 56,1% de carácter Baja, el índice de uso de agua –IUA-, representa la relación de la demanda hídrica sectorial sobre la oferta hídrica superficial, para un año medio es de categoría Moderado con un valor de 12,9 y 29,69 para un año seco, categoría Alta. El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico –IVH- es Alta.

Subcuenca Medio Cesar

La subcuenca hidrológica del medio Cesar de acuerdo con IDEAM (2015) en la tabla de valores por subzona de oferta y calidad de agua, la cuenca tiene una extensión de 8276 km^2, con una oferta total de 1884 Mm^3 y 386 Mm3 para un año medio y seco respectivamente. De acuerdo a que se debe garantizar el volumen de agua para los ecosistemas, la oferta disponible es de 1490 Mm^3 y 305 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. El caudal del medio cesar varía entre 59,7 m^3/s y 12,2 m^3/s, el rendimiento hídrico para un año seco es de 7 $l/s/km^2$ y para un año medio es de 6 $l/s/km^2$, es decir 6 litros de agua por cada km^2 de superficie en un intervalo de 1 segundo. Los valores de escorrentía varían 228 mm y 47 mm para un año seco y medio respectivamente. En cuanto a las características fisicoquímicas del alto Cesar, la carga de químicos DQO-DBO5 es de 7343 t/año y SST de 9867 t/año.

Adicionalmente, a la subcuenca del medio Cesar se le estimaron datos para análisis del recurso hídrico por condiciones de uso, contaminación y variabilidad, se consideraron los indicadores que en conjunto dan cuenta del estado y de las afectaciones de las condiciones naturales del agua (indicadores de presión, calidad y presión por contaminación y vulnerabilidad), de acuerdo con IDEAM (2015), el medio Cesar tiene un índice de regulación y retención hídrica –IRH- de 50,9% de carácter Baja, el índice de uso de agua –IUA-, representa la relación de la demanda hídrica sectorial sobre la oferta hídrica superficial, para un año medio es de categoría Alto con un valor de 28,46 y 139,05

para un año seco, categoría Critico. El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico –IVH- es Alta.

Subcuenca Bajo Cesar

La subcuenca hidrológica del bajo Cesar de acuerdo con IDEAM (2015) en la tabla de valores por subzona de oferta y calidad de agua, la cuenca tiene una extensión de 5879 km^2, con una oferta total de 3349 Mm^3 y 585 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. De acuerdo a que se debe garantizar el volumen de agua para los ecosistemas, la oferta disponible es de 1213 Mm^3 y 212 Mm^3 para un año medio y seco respectivamente. El caudal del bajo cesar varía entre 106,2 m^3/s y 18,5 m^3/s, el rendimiento hídrico para un año seco es de 6 $l/s/km^2$ y para un año medio es de 18 $l/s/km^2$, es decir 18 litros de agua por cada km^2 de superficie en un intervalo de 1 segundo. Los valores de escorrentía varían 570 mm y 99 mm para un año seco y medio respectivamente. En cuanto a las características fisicoquímicas del alto Cesar, la carga de químicos DQO-DBO5 es de 1334 t/año y SST de 1973 t/año.

Adicionalmente, a la subcuenca del Bajo Cesar se le estimaron datos para análisis del recurso hídrico por condiciones de uso, contaminación y variabilidad, se consideraron los indicadores que en conjunto dan cuenta del estado y de las afectaciones de las condiciones naturales del agua (indicadores de presión, calidad y presión por contaminación y vulnerabilidad), de acuerdo con IDEAM (2015), el bajo Cesar tiene un índice de regulación y retención hídrica –IRH- de 59,4% de carácter Baja, el índice de uso de agua –IUA-, representa la relación de la demanda hídrica sectorial sobre la oferta hídrica superficial, para un año medio es de categoría Moderado con un valor de 17,68 y 101,23 para un año seco, categoría Critico. El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico –IVH- es Alta.

3.1. DEMANDA HÍDRICA GENERAL DE LAS MINAS DE CARBÓN VISITADAS

Para el análisis de la demanda hídrica en las minas de carbón fueron considerados los diferentes procesos que pueden usar o consumir agua, tales como supresión de polvo, humectación de pilas de acopio para prevención de combustión espontánea y consumo humano.

Ante la ausencia de información sobre uso y consumo hídricos en las unidades productivas mineras (UPM) carboneras seleccionadas, se hicieron aforos volumétricos durante las visitas discriminando la demanda en cada proceso como se muestra a continuación.

3.1.1. Distrito minero Zipa – Samacá (Cundinamarca – Boyacá)

El distrito minero Zipa – Samacá, en el sentido de UPME (2005 pág. 38)UPME & Muñoz (2007) y Gobernación de Cundinamarca (2010 pág. 52) está conformado por 10 municipios cundinamarqueses y dos boyacenses como muestra la siguiente tabla. No obstante, el 94.6 % de la producción acumulada entre 2006 y 2014 está concentrada en siete municipios: Guachetá (19.7 %), Cucunubá (18.6 %), Samacá (14.5 %), Sutatausa (14.0 %), Lenguazaque (13.1 %), Tausa (7.6 %) y Ráquira (7.1 %).

En la siguiente tabla se muestra la demanda hídrica y el volumen de material procesado cada mes en cada sitio visitado en esta región según los aforos volumétricos y la información suministrada por el personal de la mina.

La demanda hídrica en los proyectos mineros de este distrito está dirigida principalmente a la humectación de las pilas de carbón, los patios de acopio y las vías de acceso, para esto se utiliza principalmente la aguas de mina extraída y procesada en tanques sedimentadores. La demanda por consumo humano es la segunda mayor demanda en la región y es abastecido fundamentalmente por acueductos veredales.

En total se visitaron 11 unidades productivas mineras (UPM) este distrito encontrándose una demanda acumulada entre ellas de 1914.8 m^3/mes (4.1 m^3/h ~ 1.1 l/s) para una producción de carbón acumulada de 24900 t/mes arrojando una relación de demanda hídrica de 0.08 m^3/t. Esta relación no debe confundirse con el módulo de demanda hídrica que será descrito en el siguiente capítulo.

En el municipio de Lenguazaque, Cundinamarca, se inspeccionaron dos minas:

- UPM 25407C04, con una producción de 1500 t/m, una demanda de 26.3 m^3/mes (0.07 m^3/h ~ 0.02 l/s) exclusiva de consumo humano y la menor relación de las UPM estudiadas con 0.018 m^3/t.
- UPM 25407C05, con una demanda de 11.3 m3/mes (0.06 m3/h ~ 0.016 l/s) correspondiente a consumo humano, una producción mensual de 500 t y una relación de demanda de 0.23 m3/t

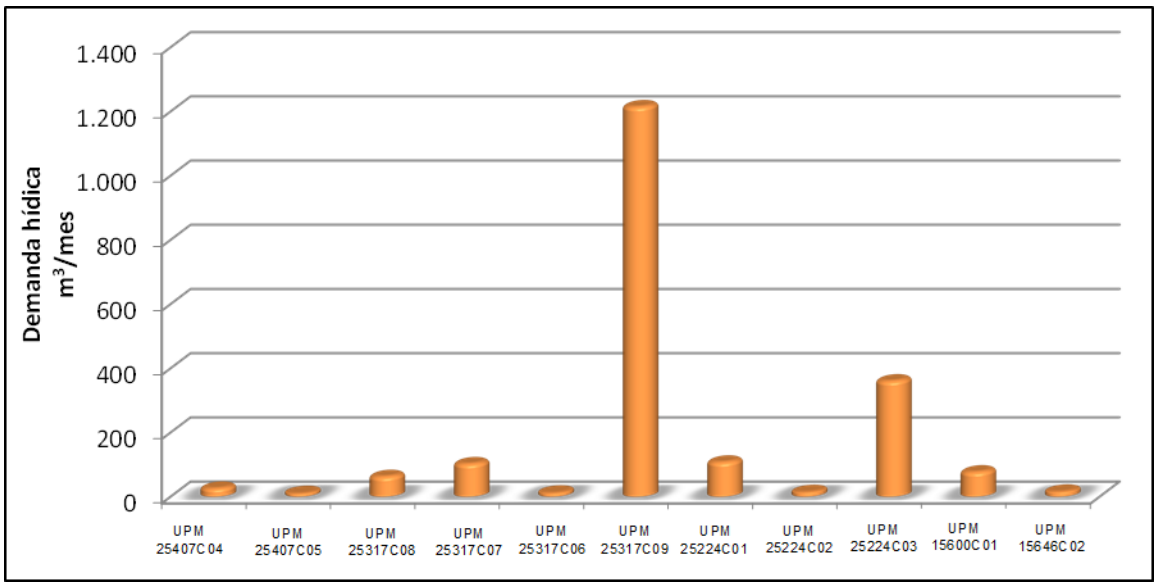
En el municipio de Cucunubá, Cundinamarca, se estudiaron tres UPM:

- UPM 25224C01, con una demanda de 108 m^3/mes (0.23 m^3/h ~ 0.063 l/s) exclusiva de consumo humano, una producción de 4000 t/m y una relación de demanda de 0.027 m^3/t.
- UPM 25224C02, con una relación de demanda de 0.019 m^3/t, una producción de 800 t/m y una demanda de 15 m3/mes (0.05 m^3/h ~ 0.013 l/s) propia del consumo humano.
- UPM 25224C03, con una demanda de 360.8 m^3/mes (0.68 m3/h ~ 0.19 l/s) distribuida entre supresión de polvo (65.9 %) y consumo humano (34.1 %), una producción de 1500 t/mes y la mayor relación de las UPM visitadas en el distrito minero Zipa – Samacá con 2.41 m^3/t.

En el municipio de Guachetá, Cundinamarca, se visitaron cuatro UPM:

- UPM 25317C08, con una relación de demanda de 0.027 m^3/t, una producción de 2300 t/m y una demanda de 63 m^3/mes (0.09 m^3/h ~ 0.024 l/s) correspondiente a consumo humano.
- UPM 25317C07, con una demanda total de 102.8 m^3/mes (0.17 m^3/h ~ 0.048 l/s) distribuida entre supresión de polvo (52.6 %) y consumo humano (47.4 %), una producción estimada de 2000 t/mes. Para una relación de demanda de 0.051 m^3/t.
- UPM 25317C06, con una producción de 300 t/mes, una demanda de 12.8 m^3/mes (0.06 m^3/h ~ 0.018 l/s) exclusiva de consumo humano y una relación demanda de 0.043 m^3/t.
- UPM 25317C09, con una producción de 12000 t/mes, una relación de demanda de 0.10 m^3/t y una demanda de 0.1 m^3/mes (1.7 m^3/h ~ 0.47 l/s) distribuidos entre supresión de polvo (75.6 %) y consumo humano (24.4 %). El alto valor de consumo humano se debe a que cuenta con 320 empleados permanentes.

Gráfico 27. Distribución de la demanda de agua en el proceso minero en las UPM en el distrito minero de Zipa - Samacá



En el municipio de Ráquira, Boyacá, se analizó la UPM 15600C01, con una producción de 2000 t/mes, una demanda de 77.3 m3/mes (0.19 m3/h ~ 0.054 l/s) correspondientes a consumo humano y una relación de demanda de 0.039 m3/t. Esta unidad es la única que utiliza el agua proveniente de un socavón adyacente para abastecer el consumo de sus 103 empleados.

En el municipio de Samacá, Boyacá, se evaluó la UPM 15646C02, con una relación de demanda de 0.027 m3/t, una demanda de 16.2 m3/mes (0.068 m3/h ~ 0.019 l/s) exclusivos de consumo humano y una producción de 600 t/mes. Mediante el acueducto veredal de Rosa Limpia se abastecen las necesidades de los 18 trabajadores de la mina.

Del Gráfico 27 puede extraerse que la UPM 25317C06 representa el 60.5 % de la demanda hídrica del total de las UPM visitadas y la cual utiliza principalmente en humectación de pilas de acopio, apagado de hornos en la planta San Carlos y consumo humano, durante la extracción del 43.6 % de la producción mensual de carbón acumulada entre estas mismas unidades.

Como es de esperar, aquellas minas que implementan humectación de suelos para supresión de material particulado son las de mayor relación de demanda: UPM 25224C03 (0.24 m^3/t), UPM 25317C06 (0.10 m^3/t) y UPM 25317C07 (0.05 m^3/t). La totalidad de la humectación de suelos y pilas de acopio en las tres minas se hace con agua de infiltración bombeada y tratada en los sedimentadores.

Los menores valores de relación de demanda son ofrecidos por las UPM 25407C04 (0.018 m^3/t) y UPM 25224C02 (0.019 m^3/t), esto parece estar relacionado con las bajas precipitaciones en la región y la poca infiltración que se presenta en ciertos sectores del valle de Ubaté, en consecuencia, estaría controlado por la disponibilidad hídrica.

En conclusión, la demanda de agua de los proyectos mineros visitados en este distrito es reducida, principalmente debido a que la extracción de carbón metalúrgico sólo requiere agua para consumo humano, humectación de pilas de acopio, vías de acceso y patios.

Tabla 49. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Zipa – Samacá

PROCESOS	LENGUAZAQUE		GUACHETA							CUCUNUBA			
	25407C04	25407C05	25317C08	25317C07		25317C06	25317C09			25224C01	25224C02	25224C03	
Tipo de Agua	Corriente superficial	Pozo Profundo	Acueducto	Corriente superficial	Pozo Profundo (socavón)	Acueducto	Pozo Profundo (socavón)	Acueducto	Pozo Profundo	Acueducto	Acueducto	Acueducto	Pozo Profundo (socavón)
Volumen Extraido de agua	26,25**	90,72*	63**	48,75**	326,25*	12,75**	4158*	9**	288**	108**	15**	123,2**	372,24*
Trituración													
Fundición													
Supresión de polvo					54,00								
Irrigación (Humectación)							918,00						237,6
Lavado de carbón													
Consumo humano	26,25	11,25	63,00	48,75		12,75		9,00	288,00	108,00	15,00	123,20	
Demanda hídrica (m^3/mes)	**26,25**	**11,25**	**63,00**	**48,75**		**12,75**		**1215,00**		**108,00**	**15,00**	**360,80**	
Producción de carbón (t/mes)	1500,00	500,00	2300,00	2000,00		300,00		12000,00		4000	800	1500	
Dias laborados	25,00	25,00	30,00	25,00		25,00		30,00		30	20	22	
Horas diarias laboradas	16,00	8,00	24,00	24,00		8,00		24,00		16	16	24	
Relación de demanda (m^3/t)	0,02	0,02	0,03	0,02		0,04		0,10		0,027	0,019	0,241	

* Agua del socavón (la cantidad no utilizada es

** La cantidad de agua extraida, es consumida

PROCESOS	RAQUIRA 15600C01	SAMACA 15646C02
Tipo de Agua	Pozo Profundo	Acueducto
Volumen Extraido de agua	77,3	16,2
Trituración		
Fundición		
Supresión de polvo		
Irrigación (Humectación)		
Lavado de carbón		
Consumo humano	77,25	16,20
Demanda hídrica (m3/mes)	**77,25**	**16,20**
Producción de carbón (t/mes)	2000,00	600,00
Dias laborados	25,00	30,00
Horas diarias laboradas	16,00	8,00
Relación de demanda (m3/t)	0,04	0,03

Con una demanda de agua que representa el 18 % de la total registrada por las 11 UPM estudiadas, la UPM 25224C03 sólo extrae el 5.5 % de la producción mensual acumulada con lo que se ubica como la de mayor relación de demanda (0.24 m^3/t). Las cifras es esta mina contrastan con aquellas de la UPM 25224C01 que con sólo un 30 % de la demanda hídrica de la primera produce un 66 % más de carbón metalúrgico alcanzando una relación notablemente menor de 0.027 m^3/t.

3.1.2. Distrito minero de la Jagua de Ibirico (Cesar)

Este distrito, descrito por UPME (2005, pág. 92)[121] y UPME (2010, pág. 97) como aquel compuesto por los municipios de Codazzi, Chimichagua, Becerril, El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná, es el mayor productor histórico de carbón en el país

La demanda de agua de los proyectos mineros visitados en el departamento del Cesar, es debida principalmente a que la actividad de extracción de carbón térmico demanda recurso hídrico en las labores diarias de humectación de las vías acceso (externas e internas) para la supresión de polvo, en el abastecimiento para el uso doméstico y en la humectación del tren de carga y transporte con el objetivo de reducir la autoignición. Adicionalmente en la UPM 20178C01 se demanda recurso hídrico en la humectación del tren de transporte.

Tabla 50. Demanda de agua por unidad productiva en el departamento de Cesar.

MUNICIPIO	UNIDAD PRODUCTIVA	Demanda de Agua por unidad de producción (m3/anual)	Materia Procesado (ton/año)	Días laborados por mes	Horas diarias Laboradas
CHIRIGUANÁ	20178C01	7000000	15000000	30	24
AGUSTIN CODAZZI	20178C02		9000000	30	24

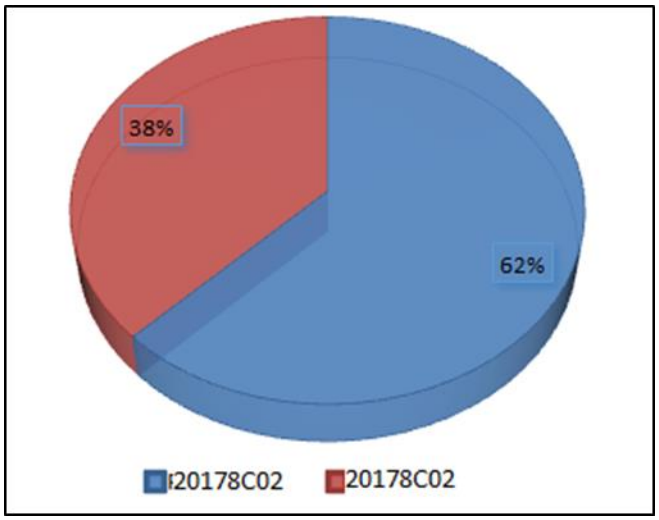
Para abastecer las necesidades domésticas las UPM se abastecen de aguas subterráneas mediante la explotación de pozos profundos que alimentan las plantas de tratamiento de agua potable –PTAP, las aguas utilizadas para la humectación de vías (supresión de polvo), en la planta de lavado y humectación del tren de carga proviene del

[121] Op. Cit.

agua de escorrentía recolectada en sumideros y pozos (construidos para recolectar esta agua para su almacenamiento). De acuerdo a la información verbal suministrada por los funcionarios las dos UPM demandan 7 Mm^3 anuales, para una extracción de 15 Mton en la UPM 20178C01 y 9 Mton en la UPM 20178C02.

En la gráfica siguiente, se presenta la relación en la producción de carbón térmico anual para una demanda de 7 Mm^3 por año

Gráfico 28. Producción de Carbón térmico por UPM en el departamento de Cesar.



El análisis de la demandad no se pudo realizar de igual manera que las UPM visitadas en otros departamentos, debido a que la información necesaria no fue suministrada, solo se realizaron los muestreos respectivos para análisis de vertimientos.

3.1.3. Distrito minero de Amagá (Antioquia)

De acuerdo con UPME (2005, pág. 40 y 2010, pág. 98)[122], este distrito está compuesto por los municipios de Amagá, Fredonia, Angelópolis y Titiribí.

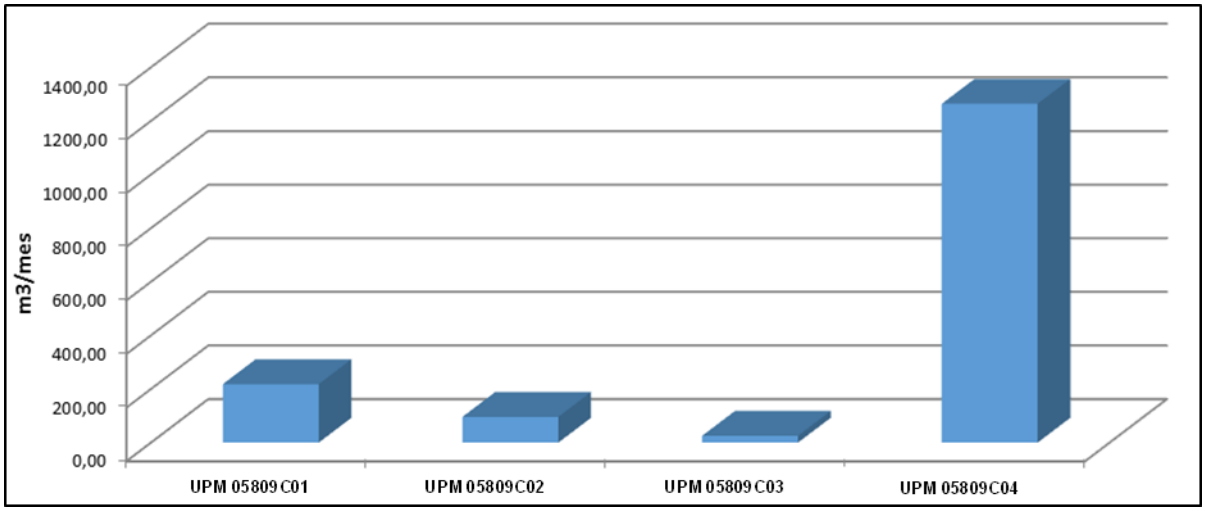
[122] Op. Cit.

En este distrito minero se visitaron 4 unidades de producción minera ubicadas en el municipio de Titiribí, en los cuales a continuación se describe la demanda de agua en cada una de ellas teniendo en cuenta los aforos realizados así como la información suministrada por el personal de la mina.

La demanda de agua en los proyectos mineros visitados es reducida en comparación con la minería de oro, debido principalmente a que las actividades de extracción y beneficio del carbón se desarrollan sin hacer uso y/o consumo del recurso hídrico dentro de las mismas. Las UPM estudiadas solo demandan agua para consumo doméstico, a excepción de la UPM 05809C04 que, además del consumo doméstico, realiza riego de vías (supresión de polvos).

En general, la demanda promedio mensual de este conjunto de unidades productivas visitadas es de 400,89 m^3, frente a una producción promedio mensual de mineral de 1425 toneladas. Al determinar la relación demanda de agua promedio mensual con toneladas producidas promedio mensual de carbón, se ve reflejado que mensualmente se demandan 1,125 m^3 de agua por cada tonelada de carbón extraída de las minas del departamento de Antioquia. En conjunto las UPM demandan 1603.5685 m^3 mensuales.

Gráfico 29. Demanda de agua por UPM en el departamento de Antioquia.



De acuerdo al grafico anterior, la UPM 05809C04 tiene la mayor demanda del recurso hídrico, representado el 78,8% de la demanda total de agua de las unidades productivas caracterizadas; esto se da debido a que en esta, a parte del consumo doméstico, se realiza riego de vías para supresión de polvos, lo que aumenta considerablemente la demanda de agua de la UPM. Cabe señalar, que el agua utilizada para riego de vías es

de origen subterráneo, extraída por gravedad desde la bocamina de la operación subterránea de la UPM 05809C03, de la cual se ocupan 1248 m^3 por mes. En relación con la cantidad de mineral producido mensual, esta UPM presenta la mayor relación, siendo esta de 0.2808 m^3 de agua por tonelada de mineral producido.

La UPM 05809C01, representa el 13,6% del total de la demanda de agua, con 218,2 m^3 al mes. Esto se debe principalmente a que en esta UPM solo se tiene consumo doméstico, al igual que la UPM 05809C03 y 05809C02. Además, en esta laboran 85 empleados por 24 horas en tres turnos, por lo que la demanda será mayor en comparación con el resto de las UPM que solo tienen consumo doméstico. La UPM 05809C01 presenta una relación agua/material relación, demandando 0,1091 m^3 de agua por tonelada de mineral producido.

La unidad productiva 05809C02 representa el 6% de la demanda total de las unidades productivas caracterizadas, puesto que en esta laboran 50 personas de las que 5 son personal administrativo, por 16 horas en dos turnos de 8 horas, lo que disminuye la demanda por consumo doméstico. La relación agua/mineral de esta UPM es de 0,080166667 m^3 de agua por tonelada de mineral producido.

Por su parte, la UPM 05809C03 tiene una menor demanda de agua, representando solo el 1,58 % de la demanda total debido, principalmente, a que en esta se laboran 59 empleados en una única jornada laboral de 8 horas, lo que disminuye considerablemente la demanda por consumo doméstico. La relación agua/mineral de esta UPM es de 0,0101338 m^3 de agua por tonelada de mineral producido.

Tabla 51. Demanda hídrica por proceso minero en el distrito minero de Amagá

PROCESOS	TITIRIBI				
	UPM 05809C01	UPM 05809C02	UPM 05809C03	UPM 05809C04	
Tipo de Agua	Superficial	Superficial	Subterranea	Subterranea	subterranea
Fuente	Nacimiento	Nacimiento	Pozo profundo (socavón)	Pozo profundo (socavón)	Pozo profundo (socavón de la operación subterranea)
Volumen Extraido de agua	218,2	96.2	65.1456	65.1457	1248
Trituración					
Molienda					
Clasificación					
Preconcentración					
Concentración					
Hidrometalurgia					
Recuperación del Oro					
Fundición					
Supresión de polvo					1248
Irrigación (Humectación)					
limpieza					
Consumo doméstico	218,20	96,2	25,3344	15,834	
Demanda de Agua por unidad de produccion	218,20	96,2	25,3345	1263,834	
Toneladas Procesadas	1500-2000	1200	2500	4500	
Dias laborados	26	26	26	26	
Horas diarias Laboradas	24 10	16 8	8	20	
Relación m3/ton	0,109	0,080	0,010	0,281	

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA MINERÍA DE CARBÓN

La metodología utilizada en la caracterización de los procesos mineros consistió en la recopilación de información secundaria sobre los distritos, seguida por la visita de campo donde se entrevistó al personal a cargo de la mina sobre temas de producción, sistemas de explotación y número de trabajadores entre otros, al tiempo que se recorrieron las instalaciones mineras incluidas bocaminas, zonas de cargue y descargue, acopios y casinos. A Continuación se caracterizan los procesos mineros por distrito minero, por municipio y por UPM visitada.

3.2.1 Distrito minero Zipa - Samacá

Las particularidades estructurales de los mantos de carbón de la Formación Guaduas en el sinclinal Checua - Lenguazaque, como buzamiento, espesor y profundidad, determinan la minería subterránea en el distrito. La transformación está circunscrita a la producción de coque para lo cual los pequeños productores contribuyen a complementar los volúmenes procesados por las pocas empresas transformadoras presentes en la región. La única UPM visitada que tiene proceso de trituración primaria es la UPM 25224C01 donde se utiliza una trituradora de quijadas.

El único proceso con demanda hídrica, diferente del consumo doméstico, es la humectación de las pilas de acopio de las UPM 25317C09 (Guachetá) y 25224C03 (Ráquira) con el objeto de evitar la combustión espontánea y controlar las emisiones de material particulado a la atmósfera. De igual forma, en la UPM 25317C07 (Guachetá) se humectan el patio de tolvas y la bocamina.

La Tabla 52 presenta la caracterización del proceso minero efectuado en el distrito, mostrando el método de explotación utilizado en cada UPM y las diferentes tecnologías implementadas en cada uno, indicando además cuáles tienen demanda hídrica (uso y consumo).

En las cinco UPM visitadas en los municipios de Lenguazaque y Cucunubá predomina el ensanche de tambores como método de explotación debido a la disposición estructural de los mantos. Mientras que las cuatro UPM estudiadas en Guachetá emplean el método de tajo largo o corto. En todos los casos se verificó como tecnologías más utilizadas el uso de martillos neumáticos y picadores (especiales para carbón), explosivos (Anfo e Indugel), vagonetas y jaula de extracción (skip) y bombas para extracción de las aguas infiltradas en los niveles y de la mina.

Gráfico 30. Esquema de extracción de carbón en el distrito minero de Zipa - Samacá

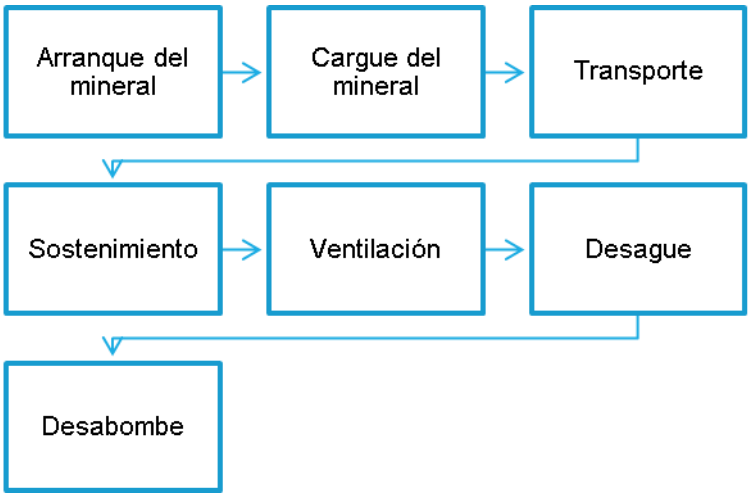


Tabla 52. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de Zipa - Samacá

ETAPA	PROCESOS	LENGUAZAQUE		GUACHETA				CUCUNUBA		
		UPM 25407C04	UPM 25407C05	UPM 25317C08	UPM 25317C07	UPM 25317C06	UPM 25317C09	UPM 25224C01	UPM 25224C02	UPM 25224C03
Extracción	Tipo de Mina	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea
	Método de Extracción	Ensanche de tambores	Ensanche de tambores	Tajo largo en avance y tajo corto en avance	Por avance	Tajo largo en avance	Tajo largo en avance y tajo corto en avance	Ensanche de tambores	Ensanche de tambores	Ensanche de tambores
	Tecnologías	Martillos Neumáticos	Martillos Neumáticos y picadores	Martillos Neumáticos	Martillos Neumáticos	Martillos Neumáticos	Martillos Neumáticos	Martillos Picadores	Martillos Picadores	Martillos Picadores
		Explosivos (Indugel)	Explosivos (Indugel)	Explosivos (Indugel)	Explosivos (Indugel)	Explosivos (Indugel)	Explosivos (Indugel)	Ventilador	Tolvas	
				Ventilador	Coches * Vagonetas	Tolvas	Tolvas			
		Skip * Vagonetas	Coche colgante * Coches	Tolvas	Medidores de gases	Skip * Coches	Cargador	Coches * Coche colgante	Coches * Vagonetas * Banda transportadora	Skip * Coches
				Cargador	Skip * Vagonetas		Vagonetas			
		Bombas •	Bombas •	Skip * Vagonetas	Bombas •	Bombas •	Bombas •	Bombas •	Bombas *	Bombas •
				bombas*						
Beneficio	Trituración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Trituradora	N/A	N/A
	Molienda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Separación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Manual	N/A	N/A
	Irrigación (Humectación)	N/A	N/A	N/A	N/A	Mangueras	Mangueras	N/A	N/A	Mangueras
	Demanda agua					No demanda agua				

* Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento

• Se usan para realizar el desagüe

3.2.1.1 Procesos mineros de las UPM del municipio de Guachetá (Cundinamarca)

Una particularidad de las UPM visitadas en este municipio cundinamarqués es la explotación por el método de tajo largo combinado con tajo cortó, que exige un buen sostenimiento en el frente de trabajo; además, todas presentan las mismas tecnologías para el desarrollo de las operaciones unitarias de arranque, cargue, transporte, sostenimiento entre otras; en su mayoría, y con excepción de la UPM 25317C08, la ventilación es por tiro natural sin contar con circuitos de ventilación auxiliar.

a. UPM 25317C09

La UPM 25317C09, con una producción mensual de 12 mil toneladas de carbón coquizable, se encuentra ubicada en el municipio de Guachetá, en las coordenadas N 05° 20' 59.0" W 73° 42' 14,8" y a una elevación de 2626 m s.n.m.

Esta unidad centra su explotación sobre 10 mantos de carbón con buzamientos entre 50° y 60° y espesores entre 0,5 m – 1,2 m. Se implementan dos métodos de explotación el 90% a tajo largo y el 10% restante a tajo corto. Estos métodos consisten en la formación de paneles de explotación limitados por vías de transporte y galerías temporales auxiliares para extraer el material en tajadas perpendiculares a la dirección del rumbo (Monsalve, J.E., 2012).

El acceso a la mina es por un túnel principal que tiene una sección de 14 m^2. Las labores de preparación y desarrollo, al igual que el arranque del mineral se realizan con perforación y voladura; la perforación se ejecuta con siete martillos neumáticos que alcanzan una profundidad de 1,2 m en avance. Durante la noche se realizan entre 18 y 20 barrenos que son cargados con tres tacos de Indugel lo que permite remover aproximadamente 12 m^3 de roca por voladura (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

Ilustración 7. Bocamina UPM 25317C09

El transporte interno utiliza tolvas de madera alimentadas por gravedad para cargar las vagonetas del tren eléctrico que lleva el material al patio de acopio desde donde es conducido hasta la planta de coquización San Carlos ubicada a 2 km de distancia.

La ventilación es natural con boca vientos y cuenta con un extractor de aire viciado. El sostenimiento se realiza con puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto colocadas a lo largo de la vía del túnel principal y en los frentes de trabajo. El agua de infiltración o de mina es extraída mediante electrobombas y conducida a tanques sedimentadores para utilizarse en labores de limpieza, humectación de suelos y pilas de acopio. (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

Las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias durante la extracción de carbón no demandan agua.

b. UPM 25317C08

La UPM 25317C08, con una producción mensual de 2300 t de carbón coquizable, está ubicada en el municipio de Guachetá, a una elevación de 2823 m s.n.m, y en las coordenadas geográficas N 05° 22' 53.9'' W 73° 40' 41,7''

Ilustración 8. UPM 25317C08

Explota seis mantos de carbón con buzamientos aproximados de 56° y con espesores variables entre 0.6 m y 0.8 m. El 70 % se realiza por tajo largo en avance y el 30 % restante por tajo corto ya descritos, para este fin cuenta con tres niveles, de en etapa de explotación y otro en desarrollo de los paneles y las guías. El acceso es por un inclinado en roca con la dirección del rumbo de los mantos. (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

Las labores de preparación y desarrollo, al igual que el arranque del mineral se realizan por perforación y voladura; la perforación se lleva a cabo con martillos neumáticos. Para la voladura se preparan diariamente 30 barrenos por detonación con dos tacos de Indugel permisible por barreno. La relación de extracción carbón – estéril es de 1:3. (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

El transporte interno utiliza coches de una tonelada que alimentan la jaula de extracción (*skip*) de dos toneladas de capacidad que es tirado por un malacate hasta verter su contenido en la tolva que permite el cargue de camiones que conducirán el carbón hasta la planta de coquización de San Carlos. (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

La UPM posee un circuito de ventilación establecido y diseñado, que se conforma por puertas y cortinas que desvían el caudal de aire limpio y se encargan de sacar el aire viciado, se tiene un ventilador de 60 HP a succión en el boca viento y ventiladores secundarios en los frentes ciegos. El sostenimiento se realiza con puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. Tres bombas de 7 HP, 18 HP y 24 HP que operan en serie bombean durante 3 h/día para extraer el agua de infiltración y conducirla por manguera de dos pulgadas (50 mm). (Comunicación personal, 3 de agosto de 2015)

Como se deriva de lo anterior, ningún proceso unitario utilizado demanda agua para su ejecución.

c. UPM 25317C07

La UPM 25317C07, con una producción mensual de 2000 t de carbón coquizable, está localizada en la vereda Peñas del municipio de Guachetá, sobre los 2823 m s.n.m. en las coordenadas geográficas N 5° 24’ 25,67” y W 73° 39’ 10,31”.

Ilustración 9. UPM 25317C07

Mediante el método de tajo largo en avance descrito anteriormente y a través de dos socavones independientes, uno con un único nivel de 100 m y el otro con dos niveles de 100 m y 80 m respectivamente, se realiza el aprovechamiento de cuatro mantos de carbón con espesores promedio de 0.8 m. El acceso se realiza por inclinados en roca (Comunicación Personal, 3 de agosto de 2015)

La perforación se efectúa con martillos neumáticos y para las voladuras diarias se utiliza Anfo e Indugel permisible. La relación de extracción carbón – estéril es de 2:1. El transporte interno usa coches de una tonelada para alimentar el skip halado por malacate hasta depositar el carbón en las tolvas para su posterior almacenamiento en el patio de acopio y posterior venta sin someterlo a procesos de beneficio (Comunicación Personal, 3 de agosto de 2015)

La ventilación es natural y se cuenta con un ventilador de 45 HP a inyección en los frentes activos de cada socavón. El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas,

palancas y capices de maderas de eucalipto. Una serie de tres bombas de 15 HP por socavón funciona durante 1.5 h/día y conduce el agua hasta sedimentadores y posteriormente hasta una laguna permeable (Comunicación Personal, 3 de agosto de 2015).

Como en los casos anteriores, los procesos no demandan agua.

d. UPM 25317C06

La UPM 25317C06, con una producción de 200 t/m de carbón coquizable, se ubica en la vereda Peñas del municipio de Guachetá, a una elevación de 2970 m s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 24' 29,2'' W 73° 39' 16,2''.

Dos bocaminas (Piedro y Consuelo) permiten la explotación de dos mantos con espesor variable entre 0.6 m y 0.7 m mediante el método de tajo por avance, un método artesanal que consiste en extraer el carbón en porciones a lo largo de un frente de trabajo con avance en la dirección del rumbo de los mantos. Para esto hay dos niveles de 50 m en los que se va destajando el mineral. El ingreso es a través de un inclinado en roca (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015)

Ilustración 10. UPM 25317C06

La perforación se realiza con martillos neumáticos. Para las voladuras diarias, se carga cada barreno con cuatro tacos de Indugel permisible. La relación de extracción carbón – estéril es de 18:15. El transporte interno utiliza vagonetas que alimentan un coche colgante de una tonelada de capacidad que extrae el material con ayuda de un malacate

(40 HP) y lo deposita en la tolva de madera, para luego ser transportado al de consumo (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

La ventilación es natural e internamente se cuenta con cuatro medidores de gases que son monitoreados continuamente. El sostenimiento se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. El agua de mina es extraída con ayuda de una electrobomba (20 HP) por socavón que opera cuatro horas cada 15 días y conduce el agua hasta tres sedimentadores (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

3.2.1.2 Procesos mineros de las UPM del municipio de Lenguazaque (Cundinamarca)

Las particularidades de las UPM visitadas en este municipio del departamento de Cundinamarca son dos: 1) los carbones son térmicos y 2) se utiliza el método de ensanche de tambores y comparten las tecnologías de las operaciones unitarias de arranque, cargue, transporte, sostenimiento entre otras. A continuación se describe cada UPM visitadas.

a. UPM 25407C04

La UPM 25407C04, con una producción de 1500 t/mes, se encuentra ubicada en la vereda Ramada Flores en el municipio de Lenguazaque, a una altura de 2635 m s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 19' 35,1 W 73° 43' 9,7''.

Se aprovechan cinco mantos con buzamiento aproximado de 46° y espesor variable entre 05 m y 1.2 m utilizando el método de ensanches de tambores consistente en la delimitación del bloque de explotación mediante niveles y subniveles, para luego trazar tambores a lo largo del buzamiento facilitando el descargue hasta el nivel o subnivel inferior según las necesidades de ventilación. El ensanche de tambores se produce en retroceso a lo largo del rumbo hasta formar cámaras delimitadas por machones de seguridad (Monsalve, J.E., 2012). La mina cuenta con tres niveles con una distancia entre nivel de 15 m. El acceso a la mina es por un inclinado principal (Comunicación personal, 6 de agosto de 2015).

Ilustración 11. UPM 25407C04

La perforación se hace con martillos neumáticos y la voladura se realiza en horas de la noche utilizando Indugel permisible. Dentro de la UPM se cargan por gravedad unas tolvas de madera que alimentan las vagonetas que entregan el material a la jaula de extracción que a su vez lo lleva a superficie para ser acopiado y luego vendido sin ningún tipo de beneficio. La ventilación es natural y se cuenta con un boca-viento ubicado a 300 m de altura sobre la bocamina. El sostenimiento se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. El agua de infiltración de la mina sale a superficie por tres bombas sumergibles (15 HP, 30 HP y 30 HP) y una manguera de tres pulgadas de diámetro que la conduce hacia los tanques de sedimentación (Comunicación personal, 6 de agosto de 2015).

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías utilizadas para las operaciones unitarias demanda de agua.

b. UPM 25407C05

La UPM 25407C05, con una producción mensual de 500 t de carbón térmico, se encuentra ubicada en la vereda Ramada Alta en el municipio de Lenguazaque, a una altura de 2818 m s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 18' 42,9 W 73° 44' 8,6''.

Se aprovechan cuatro mantos con buzamientos aproximados de 50° y cuyos espesores varían entre 0.5 m y 1 m. Se utiliza el método de ensanche de tambores descrito anteriormente, para ello la mina cuenta con dos niveles de 200 m y 300 m distanciados entre si 25 m. El acceso a la mina es por un inclinado principal (Comunicación personal, 6 de agosto de 2015).

Las labores de preparación, desarrollo y arranque de material se realizan con martillos neumáticos picadores. Para la voladura, sólo usada en las cruzadas en roca, se utiliza Indugel permisible. El transporte interno utiliza la gravedad para cargar las tolvas que echan el material en las vagonetas que suministran el material al skip de una tonelada de capacidad para llevar el carbón hasta la tolva exterior y de allí, en volquetas, al patio de acopio y de ahí al sitio de consumo sin realizarle beneficio alguno. La ventilación es natural y el sostenimiento utiliza puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. El agua de infiltración es extraída por dos bombas (15 HP) puestas en serie que son encendidas durante 15 minutos cada semana para llevar el agua hasta tanques de sedimentación (Comunicación personal, 6 de agosto de 2015).

Ilustración 12. UPM 25407C05

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías utilizadas para las operaciones unitarias demandan agua

3.2.1.3 Procesos mineros de las UPM del municipio de Cucunubá (Cundinamarca)

Al igual que en el caso anterior, las UPM visitadas en este municipio del departamento de Cundinamarca muestran dos particularidades: 1) se utiliza el método de ensanche de tambores y 2) el arranque del material y el estéril se hace con martillos neumáticos picadores en ausencia de explosivos, lo que parece indicar la baja competencia de la roca. A continuación se describe cada UPM visitada.

a. UPM 25224C03

La UPM 25224C03, con una producción de 1500 t/ mes de carbón coquizable, está localizada en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, a una altura de 2744 m s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 13' 31,3 W 73° 46' 41,5".

Ilustración 13. UPM 25224C03

Se explotan cuatro mantos de carbón con buzamiento aproximado de 85° y espesores entre 0.8 m y 1.5 m, mediante el método de ensanche de tambores para lo cual la mina cuenta con ocho niveles comunicados por tambores que siguen el buzamiento para facilitar el descargue hasta los niveles de transporte y según las necesidades de ventilación. El ensanche de los tambores se produce a lo largo del rumbo hasta formar cámaras delimitadas por machones de seguridad (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

Las labores de preparación, desarrollo y arranque se realizan con martillos neumáticos picadores alcanzándose una relación carbón estéril de 4:1 en la etapa de desarrollo y de 5:1 en explotación (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

El transporte interno se realiza mediante vagonetas cargadas en las tolvas de madera que conducen el material hasta el skip tirado por malacate que lo lleva a superficie y de ahí a las pilas de acopio de donde parte para a la planta de coquización en ausencia de procesos de beneficio (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

La UPM cuenta con ventilación natural con boca-vientos ubicada, mientras en los frentes de trabajo hay ventiladores auxiliares de 6 HP para la inyección de aire limpio. El sostenimiento se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto.

Una bomba multietapa tipo lapicero (30 HP) extrae el agua de mina y la impulsa, por una manguera de tres pulgadas, hasta unos tanques de sedimentación donde se trata con sulfato tipo B y otros componentes antes de utilizarse en riego de vegetales, humectación del carbón y lavado de las instalaciones de la mina (Pérez, W., Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias consume agua.

b. UPM 25224C02

La UPM 25224C02, con una producción de 800 t/mes de carbón térmico, se ubica en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, a una altura de 2578 m s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 16' 23,9 W 73° 46' 26,1".

Ilustración 14. UPM 25224C02

Se aprovechan tres mantos de carbón con espesores de 0.6 m, 1.0 m (con una intercalación de arcilla de 30 cm) y 0.7 m, con buzamiento aproximado de 4°. Se utiliza el método de ensanche de tambores. Para la preparación, el desarrollo y el arranque se usan martillos neumáticos picadores. La relación de extracción carbón – estéril es de 10:1.5 (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

Las tolvas internas de madera reciben el material por gravedad para echarlo en las vagonetas que alimentan los coches que, a su vez, descargan en una banda transportadora de 100 m de longitud que lleva el material hasta la tolva del patio de acopio

donde se comercializa sin ningún tratamiento de beneficio. La ventilación es natural con un boca-viento y el dos ventiladores auxiliares (6 HP) en los frentes de trabajo para la inyección de aire limpio. El sostenimiento se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. Mediante una bomba de 15 HP se bombea el agua de mina a través de una tubería de dos pulgadas cada seis horas hasta unos tanques de sedimentación (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

Al igual que en los casos anteriores, ninguna de las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias demanda agua.

c. UPM 25224C01

La UPM 25224C01, con una producción de 4000 t/mes, está localizada en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, a una altura de 2677 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas N 05° 13' 48,1 W 73° 46' 36,2".

Ilustración 15. UPM 25224C01

Mediante el ensanche de tambores se explotan seis mantos con buzamientos aproximados de 52° y espesores que oscilan entre 0.8 m y 1.2 m. La mina cuenta con tres niveles de 100 m cada uno con tambores trazados a lo largo del buzamiento. (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015)

Las labores de preparación, desarrollo y arranque se hacen con 12 martillos neumáticos picadores impulsados por un compresor de 50 HP. Las tolvas de madera internas alimentan por gravedad los coches que surten una jaula colgante con capacidad de 1.2 t

que es tirada por un malacate hasta la superficie donde descarga en las pilas de acopio, de allí en volquetas es llevado a una trituradora de quijadas para reducción de tamaño antes de ser llevado a la planta de coquización. (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015)

La ventilación es natural con un boca-viento localizado a 140 m de altura de la bocamina, adicionalmente, hay dos ventiladores de 40 HP y 30 HP que inyectan aire limpio a los frentes de trabajo. El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. El agua de infiltración es evacuada con ayuda de dos bombas multietapa tipo lapicero (60 HP) y conducida por una manguera de cuatro pulgadas hasta las lagunas de sedimentación. (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015)

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

3.2.1.4 Procesos mineros de las UPM de los municipios de Ráquira y Samacá (Boyacá)

En las UPM visitadas en los municipios boyacenses de Ráquira y Samacá el método de explotación utilizado es el tajo corto debido a que es el que mejor se adapta a las condiciones estructurales de los mantos. El carbón metalúrgico extraído es comercializado localmente sin someterlo a tratamientos de beneficio. En consecuencia, la demanda hídrica de estas unidades se restringe al consumo humano. A continuación se muestra el esquema de extracción en las UPM visitadas.

a. UPM 15600C01

La UPM 15600C01, con una producción mensual de 2000 t de carbón coquizable, está sobre los 2839 m s.n.m. en la vereda Firitas del municipio de Ráquira, en las coordenadas geográficas N 05° 26' 51,0" W 73° 37' 1,6".

Ilustración 16. UPM 15600C01

Se aprovechan tres mantos de carbón con espesor aproximado de 0.7 m mediante el método artesanal de tajo abierto descrito anteriormente para lo cual se cuenta con dos niveles de 100 m en los que se va destajando el mineral. El acceso a la mina es por inclinado en roca (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

La perforación se hace con martillos neumáticos y para las voladuras diarias se colocan tres tacos de Indugel por barreno. La relación de extracción carbón – estéril es de 1:1.5. El transporte interno se hace con vagonetas que alimentan la jaula colgante que impulsada por malacate deposita el material en la tolva exterior donde se cargan las volquetas que lo llevan a la planta de coquización (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015).

La ventilación es natural con una boca-viento ubicada a 10 m de altura de diferencia de la bocamina; se cuenta con medidores de gases que son monitoreados permanentemente. El sostenimiento se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. Una electrobomba de 30 HP extrae el agua de mina dos horas cada día y, a través de una tubería de tres pulgadas, la lleva hasta los sedimentadores (Comunicación Personal, 04 de agosto de 2015). Ninguno de los procesos utilizados demanda agua.

b. UPM 15646C02

La UPM 15646C02, con una producción de 600 t/mes de carbón coquizable, está sobre los 2899 m.s.n.m. en las coordenadas geográficas N 05° 27' 25,8" W 73° 35' 28,3".

Se aprovechan tres mantos de carbón de espesor aproximado de 0.8 m mediante tres bocaminas cuyo acceso es por un inclinado en roca y en las que se utiliza el método de tajo abierto. La perforación se desarrolla con martillos neumáticos y para las voladuras se usan tres tacos de Indugel permisible por barreno. La relación de extracción carbón – estéril es de 50:1. (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015)

Ilustración 17. UPM 15646C02

El transporte interno se ejecuta con coches que alimentan la jaula colgante que, tirada por un malacate, lleva el material en la tolva de madera externa desde donde se cargan las volquetas que llevan el material a la planta de coquización. Sólo la bocamina San Rafael tiene cuenta con un ventilador a inyección de 12 HP para los frentes ciegos, las otras dos tienen sistemas de ventilación natural. El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas, palancas y capices de maderas de eucalipto. Tres electrobombas sumergibles de 12 HP extraen el agua de mina durante media hora cada día y la conduce por una tubería de tres pulgadas hasta los tanques sedimentadores. (Comunicación Personal, 4 de agosto de 2015). Ningún proceso utilizado en la UPM demanda agua.

3.2.2 Distrito minero de Amagá (Antioquia)

Las particularidades estructurales de los mantos de carbón de la Formación Amaga, como buzamiento, espesor y profundidad, determinan la minería subterránea en el distrito, aunque en algunas partes del sinclinal los mantos afloran a superficie de tal forma que permiten ser explotados mediante minería de superficie, en el estudio en la zona se visitaron 4 UPM, 3 subterráneas y una a cielo abierto. 2 de las UPM visitada tienen proceso de trituración primaria donde se utiliza una trituradora de rodillos.

El único proceso con demanda hídrica, diferente del consumo doméstico, es el riego de vías que se realiza en la UPM 05809C04, con el objeto de controlar el polvo y las emisiones de material particulado a la atmósfera.

En las 4 UPM visitadas en el municipio de titiribí predomina la minería subterránea, 3 de ellas se explotan de esta forma, de las cuales 2 usan el mismo método de explotación de cámaras y pilares, las otras 2 pertenecen a la misma empresa, pero son dos operaciones distintas una explota los mantos de carbón a través del método de ensanche de tambores (minería subterránea), mientras que la otra lo hace con el método de bancos con terrazas descendentes (minería de superficie). En todos los casos de las UPM subterráneas se verificó como tecnologías más utilizadas el uso de martillos picadores (especiales para carbón), skip, coches, ventiladores, compresores de aire y bombas para extracción de las aguas infiltradas en los niveles y de la mina, por su parte la UPM a cielo abierto utiliza tecnologías como: excavadoras, buldócer, retroexcavadoras, motoniveladoras y cargador.

Gráfico 31. Esquema de extracción de carbón (minería subterránea) en el distrito minero de Amagá

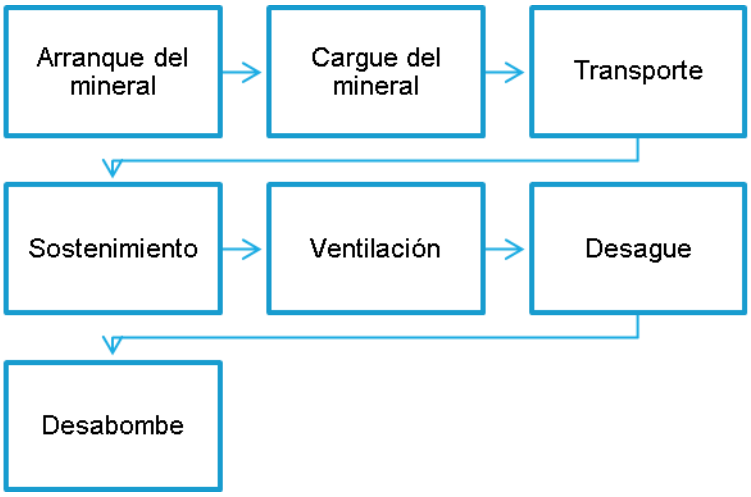
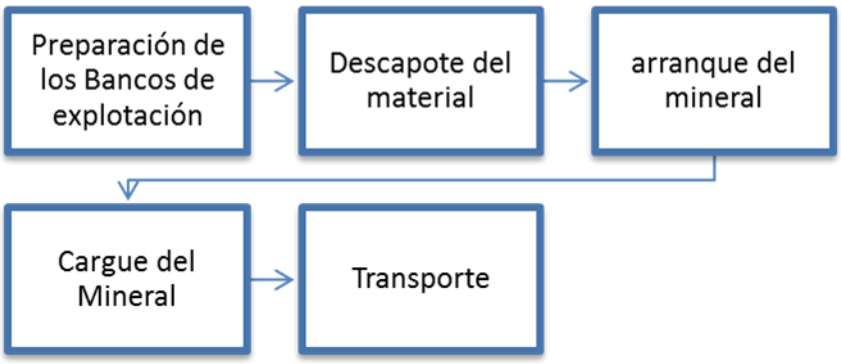


Gráfico 32. Esquema de extracción de carbón (minería de superficie) en el distrito minero de Amagá



La Tabla 53 presenta la caracterización del proceso minero efectuado en el distrito, mostrando el método de explotación utilizado en cada UPM y las diferentes tecnologías implementadas en cada uno, indicando además cuáles tienen demanda hídrica (uso y consumo).

Tabla 53. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de Amagá

ETAPA	PROCESOS	UPM 05809C01	UPM 05809C02	UPM 05809C03	UPM 05809C04
Extracción	Tipo de Mina	Subterránea	Subterránea	Subterránea	A cielo Abierto
	Método de Extracción	Cámaras y pilares	Cámaras y pilares	Ensanche de Tambores	Bancos con terrazas descendentes
	Tecnologías	Martillos Picadores Neumáticos	Martillos Picadores Neumáticos	Martillos Picadores Neumáticos	Retroexcavadoras
		Skip + Vagonetas	Skip + Vagonetas	Skip + Coches	Excavadoras
		Tolvas	Tolvas	Tolvas	Cargador
		Ventilador	Ventilador	Turbina Neumática	Buldócer
		bombas *	bombas *	Medidores de gases	Motoniveladora
		Medidores de gases	Medidores de gases	Compresor	Volquetas Doble troque
		Compresor	Compresor		Volquetas
Beneficio	Trituración	Trituradora de rodillos	Trituradora de rodillos		
	Fundición				
	Supresión de polvo				
	Irrigación (Humectación)				Carro tanque y Mangueras
	limpieza				

Uso de agua
Cuentan con el equipo pero no está en funcionamiento
No usa agua
* Extracción de agua

3.2.2.1 Procesos mineros de las UPM del municipio de Titiribí (Antioquia)

Una particularidad de las UPM visitadas en este municipio antioqueño es que las 4 UPM explotan los mismos 2 mantos (la grande y la solapuda) en diferentes zonas, 3 de ellas con minería subterránea y otra los aprovecha en una zona donde los mantos afloran a superficie, todas las de minería subterránea presentan las mismas tecnologías para el desarrollo de las operaciones unitarias de arranque, cargue, transporte, sostenimiento, ventilación entre otras; y la UPM a cielo abierto presenta tecnologías propias del tipo de explotación descritas anteriormente.

a. UPM 05809C01

La UPM 05809C01 con producción mensual de 1500-2000 toneladas de carbón térmico, se encuentra ubicada en el municipio de titiribí, en las coordenadas N 06° 02' 22,3" W 75° 46' 15,6" y a una elevación de 1376 m s.n.m.

Ilustración 18. Entrada y panorama general de la UPM.

Panorama general de la UPM

Entrada a la UPM

Explotan el carbón de 2 mantos (la grande y la solapuda) que tienen un espesor que varía entre 1,6m – 1,2 m y tienen un buzamiento de 30-45° aproximadamente, implementando así el método de explotación de cámaras y pilares (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015). Método que consiste en la apertura de excavaciones múltiples o cámaras, dejando partes del mineral útil para soportar la carga vertical. El mineral es transportado

por gravedad o por medios mecánicos a un punto inferior donde es cargado y transportado al exterior de la mina[123]

El acceso a los mantos es por un inclinado principal de 270 m, del que se desprenden 2 niveles de 800m y 500m en la horizontal, en los se preparan las cámaras y los paneles de explotación. Las labores de preparación y desarrollo, al igual que el arranque del mineral se realizan con martillos picadores, impulsados por un compresor de aire, se cuenta con 26 martillos y un compresor de 5500 PSI.

Las labores de transporte dentro de la mina del material inicialmente se realiza con coches que tienen una capacidad de 0,8-0,9 toneladas, alimentados por el material que cae a unas tolvas de maderas, estos coches alimentan un skip que es impulsado por un malacate a superficie, que finalmente descarga en las pilas de acopio el mineral, este luego es triturado y depositado en las tolvas para posteriormente ser transportado en volquetas hacia los lugares de despacho (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015).

La mina no posee un circuito de ventilación establecido, se tiene ventilación natural, con una boca mina y boca viento independientes y a una altura de distancia necesaria para la circulación correcta del aire, en la boca mina se encuentra un ventilador a inyección de 5 hp y en el boca viento otro ventilador de 5hp que trabaja a succión.

El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas, palancas y capices de madera que se van colocando en toda la vía del inclinado principal y a medida que van avanzando en profundidad, en los frentes de trabajo activo se coloca guadua. 6 bombas, 4 de ellas de 9 hp, con una manguera de 2” y las otras 2 de 5hp y con una manguera 1 ½”, operan en serie para extraer el agua de infiltración de la mina, esta llega a unos tanque donde se le realiza una sedimentación antes de ser vertida a la quebrada. (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015). La mina no cuenta con un plan de cierre y abandono.

Las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias durante la extracción de carbón no demandan agua.

[123] Monsalve, J.E. (2012). Notas de clase de la asignatura: Minería subterránea. Medellín, Ant.: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

b. UPM 05809C02

La UPM 05809C02con producción mensual de 1200 toneladas de carbón térmico, se encuentra ubicada en el municipio de titiribí, en las coordenadas 06° 02' 55,5'' N 75° 46' 30,2'' W y a una elevación de 1675 m s.n.m.

Ilustración 19. Entrada y Bocamina de la UPM.

Entrada a la UPM

Boca Mina #2 UPM

Explotan el carbón de 2 mantos (la grande y la solapuda) que tienen un espesor que varía entre 2,2m – 1,8 m y tienen un buzamiento de 35-45° aproximadamente, implementando así el método de explotación de cámaras y pilares (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015). Método que consiste en la apertura de excavaciones múltiples o cámaras, dejando partes del mineral útil para soportar la carga vertical. El mineral es transportado por la gravedad o por medios mecánicos a un punto inferior donde es cargado y transportado al exterior de la mina[124]

El acceso a los mantos es por una clavada principal de 400 m de profundidad, del que se desprenden 2 niveles de 300m en la horizontal cada uno, en los se preparan las cámaras y los paneles de explotación. Las labores de preparación y desarrollo, al igual que el

[124] Monsalve, J.E. (2012). *Notas de clase de la asignatura: Minería subterránea.* Medellín, Ant.: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

arranque del mineral se realizan con martillos picadores, impulsados por un compresor de aire, se cuenta con 20 martillos y un compresor de 5500 PSI.

Las labores de transporte dentro de la mina del material inicialmente se realiza con coches con capacidad de 1 toneladas alimentados por el material que cae a unas tolvas de maderas, estos coches alimentan un skip que es impulsado por un malacate a superficie, que finalmente descarga en las pilas de acopio el mineral, este luego es triturado y depositado en las tolvas para posteriormente ser transportado en volquetas hacia los lugares de despacho (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015).

La mina no posee un circuito de ventilación establecido, se tiene ventilación natural, con una boca mina y boca viento independientes y a una altura de distancia necesaria para la circulación correcta del aire, en uno de los niveles se encuentra un ventilador a inyección de 20 hp. El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas, palancas y capices de madera que se van colocando en toda la vía del inclinado principal y a medida que van avanzando en profundidad, en los frentes de trabajo activo se coloca guadua. 1 bomba de 25 hp, con una manguera de 3” opera para extraer el agua de infiltración de la mina, esta llega a 4 pozos donde se le realiza una sedimentación antes de ser vertida a la quebrada. (Comunicación personal, 19 de octubre de 2015). La mina no cuenta con un plan de cierre y abandono.

Las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias durante la extracción de carbón no demandan agua.

c. UPM 05809C03

La UPM 05809C03 con producción mensual de 2500 toneladas de carbón térmico, se encuentra ubicada en el municipio de titiribí, en las coordenadas 06° 05' 10,4" N 75° 45' 42,7" W y a una elevación de 1179 m s.n.m.

Ilustración 20. Bocamina y Oficinas de la UPM.

Bocamina UPM

Oficinas UPM

Explotan el carbón de 2 mantos (la grande y la solapuda) que tienen un espesor que varía entre 2,2m – 1,8 m y tienen un buzamiento de 25° aproximadamente, implementando así el método de explotación de ensanche de tambores (Comunicación personal, 20 de octubre de 2015). Este método consiste básicamente en delimitar el bloque de explotación por medio de niveles y sub-niveles, luego se trazan tambores a lo largo del buzamiento facilitando el descargue hasta el nivel o subnivel inferior dependiendo de las necesidades de ventilación, y el ensanche de tambores se produce en paralelo a lo largo del rumbo hasta formar cámaras delimitadas por machones de seguridad[125]

El acceso a los mantos es por una clavada principal de 750 m de profundidad, del que se desprenden 3 niveles de 800m en la horizontal cada uno, en los que se preparan las cámaras y los paneles de explotación. Las labores de preparación y desarrollo, al igual que el arranque del mineral se realizan con martillos picadores, impulsados por un compresor de aire, se cuenta con 30 martillos picadores y un compresor de 950 CFM.

Las labores de transporte dentro de la mina del material inicialmente se realiza con coches con capacidad de 1 toneladas alimentados por el material que cae a unas tolvas de maderas, estos coches alimentan un skip al nivel 0 de la mina, de ahí sale a superficie

[125] Monsalve, J.E. (2012). *Notas de clase de la asignatura: Minería subterránea.* Medellín, Ant.: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

en coches que finalmente lo descargan en las pilas en el patio de acopio para su posterior transporte (Comunicación personal, 20 de octubre de 2015).

La mina no posee un circuito de ventilación establecido, se tiene ventilación natural, con una boca mina y boca viento independientes y a una altura de distancia necesaria para la circulación correcta del aire, en uno de los niveles se encuentra una turbina mecánica que ayuda a ventilar los frentes de trabajo. El sostenimiento de la mina se realiza con unas puertas, palancas y capices de madera que se van colocando en toda la vía del inclinado principal y a medida que van avanzando en profundidad, en los frentes de trabajo activo se coloca guadua. El agua de escorrentía e infiltración de la mina sale a superficie por gravedad, con una manguera de 3" esta llega a 5 tanques donde se le realiza una sedimentación antes de ser usada para el riego de las vías de la operación a cielo abierto de la misma empresa y de ser vertida a la quebrada. (comunicación personal, 20 de octubre de 2015). La mina cuenta con un plan de cierre y abandono planteado en el plan de trabajos y obras aprobado.

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

d. UPM 05809C04

La UPM 05809C04 con producción mensual de 4500 toneladas de carbón térmico, se encuentra ubicada en el municipio de titiribí, en las coordenadas 06° 05' 32,6'' N 75° 45' 18,7'' W y a una elevación de 1010 m.s.n.m.

Ilustración 21. Pit y Bancos de explotación.

Pit

Bancos de explotación

Explotan el carbón de 2 mantos (la grande y la solapuda) que tienen un espesor que varía entre 2,2m – 1,8 m y un buzamiento de 80°-90° aproximadamente, cabe resaltar en este punto que son los mismos mantos de la operación subterránea, pero debido a eventos geológicos (fallas) estos mantos se desplazaron y afloraron a superficie, permitiendo aprovecharlos así a través de minería de superficie, por lo que se implementa así el método de explotación de bancos con terrazas descendentes (comunicación personal, 20 de octubre de 2015). Este método consiste básicamente en ir haciendo bancos de forma descendente a lo largo del buzamiento de los mantos e ir formando en cada uno de ellos terrazas de explotación del mineral[126]

El arranque del mineral es mecánico, se cuenta con 3 excavadoras, con referencia 236D (2) y (1) 324 D, estas se encargan de realizar el descapote del material (se maneja una relación de estéril-Carbón 20:1, es decir 1 tonelada de carbón por 20 toneladas de estéril) y de destapar los mantos, una retroexcavadora con referencia 416E, que se encarga de arrancar el carbón, para que luego un cargador lo cargue a las volquetas que lo transportan a su lugar de destino, una de las excavadoras carga las volquetas doble troque que se encargan de transportar el material estéril a los botaderos de la mina, en estos se encuentran 2 buldócer con referencia D6N y D6R que van acomodando el material y realizando el mantenimiento de los mismos, el mantenimiento de las vías se realiza con una motoniveladora 120H. (Comunicación personal, 20 de octubre de 2015).

En este proceso de extracción de mineral no se consume agua, el agua de escorrentía del pit y los botaderos se conduce por unas cunetas y canales perimetrales y sale a un sedimentador a través de una tubería de 3” (comunicación personal, 20 de octubre de 2015). La mina cuenta con un plan de cierre y abandono planteado en el plan de trabajos y obras aprobado.

En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

3.2.3 Distrito minero de La Jagua de Ibirico (Cesar)

Este distrito minero incluye los municipios de La Jagua, Agustín Codazzi, Becerril, El Paso, Chiriguaná y Curumaní. Todos en el Departamento del Cesar.[…] La actividad prevaleciente en este distrito es a cielo abierto, centrada principalmente la explotación en

[126] Monsalve, J.E. (2012). *Notas de clase de la asignatura: Minería subterránea.* Medellín, Ant.: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

los mantos de la Formación Los Cuervos. En la geología estructural dentro del distrito se distinguen 3 zonas: La Jagua de Ibirico (compuesta por el sinclinal de igual nombre, el Alto de Becerril y La Loma, donde existen 3 grandes estructuras como los Sinclinales de EL Descanso, La Loma y El Boquerón)[127].

En las operaciones visitadas los principales usos del recurso hídrico se dan en las actividades de riego de vías, lavado de carbón, lavado de equipos y en el consumo humano. Particularmente, la actividad del riego de vías para la supresión de polvo representa el mayor consumo de agua, a la vez que el lavado de carbón solo se hace en la Mina Pribbenow y solo a una parte de los carbones que por cuestiones operativas es extraída contaminada con material estéril.

En el Gráfico 33 se resume de manera general las etapas del proceso minero en las unidades de producción visitadas.

Gráfico 33. Esquema de extracción y beneficio de carbón

A continuación, en la Tabla 54, se resumen las tecnologías implementadas en los procesos de extracción y beneficio en las UPM visitadas.

[127] Castro Sánchez , E. (2009). Aspectos geológicos y principales consideraciones de la evaluación ambiental estratégica (Diagnóstico Ambiental) del Distrito Minero de La Jagua, Departamento del Cesar. *Monografía para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental*. Universidad Industrial de Santander.

Tabla 54. Caracterización del proceso de extracción y beneficio de carbón en el distrito minero de La Jagua

ETAPA	PROCESOS	CHIRIGUANA UPM 20178C01	CODAZZI UPM 20178C02
Extracción	Tipo de Mina	cielo abierto	cielo abierto
	Método de Extracción	Perforación y voladura con carga sobre volquete	Perforación y voladura con carga sobre volquete
	Tecnologías	Dragalinas	Dragalinas
		Retroexcavadora	Retroexcavadora
		Volquetas	Volquetas
		Motoniveladora	Motoniveladora
		Bulldozer	Bulldozer
Beneficio	Trituración	Rodillo Dentado, Trituradora de Rodillos	Rodillo Dentado, Trituradora de Rodillos
	Molienda		
	Clasificación		
	Preconcentración		
	Concentración		
	Hidrometalurgia		
	Recuperación del Oro		
	Fundición		
	Supresión de polvo	Carrotanque	Carrotanque
	Irrigación (Humectación)		
	Lavado	Torre de Lavado + screen + ciclón	
	Uso de agua		
	No usa agua		

Procesos mineros en las UPM de los municipios de Codazzi y Chiriguaná:

Dentro del distrito se visitan las unidades de producción UPM 20178C01 y UPM 20178C02. En ambas se explota carbón térmico que es exportado en su totalidad. Este se lleva desde la zona de explotación hasta puerto mediante trasporte ferroviario.

UPM 20178C01:

Esta unidad de producción se ubica principalmente sobre el municipio de Chiriguaná sobre las coordenadas N09º35’14,5’’ y W73º31’44,1’’, tiene una producción aproximada de 15 millones de toneladas anuales y funciona 24 horas durante todo el año. En la Ilustración 22 puede observarse una vista general de las labores mineras adelantadas. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

Ilustración 22. Vista general del Pit UPM 20178C01

Implementan un método americano de explotación con perforación, voladura y cargue sobre volquete. El desarrollo minero comienza con la remoción de capa de vegetal y el cargue de estéril utilizando dragalinas. El transporte de estéril desde frente de trabajo hasta escombrera se hace utilizando volquetas, operan con una relación de descapote aproximada de 9 m^3 de estéril por tonelada de carbón extraída. Así mismo, el cargue y transporte del carbón se hace con excavadoras hidráulicas y volquetas. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

En el proceso de extracción se encuentran dos actividades auxiliares que implican demanda de recurso hídrico. Estas son el lavado de equipos y el riego de vías. La primera se lleva a cabo en un espacio especialmente determinado. El lavado de equipos pesados y livianos se hace en zonas diferentes, al igual que cuentan con un área especial para los equipos de transporte de carbón. A su vez, el riego de vías para la supresión de polvo, es una actividad especialmente importante en lo concerniente a la demanda de agua dentro del proceso minero, pues representa el mayor gasto, más del 60% del agua consumida dentro de la explotación. El riego se hace en una flota de carrotanques cargados en torres de llenado ancladas a una red de distribución y ubicadas en puntos estratégicos. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

El carbón explotado es llevado hasta el patio de acopio donde se almacena en pilas. Previo a su despacho, el carbón se mezcla y es reducido de tamaño. Luego se trasporta mediante banda hasta la torre de embarque donde llega hasta los vagones del ferrocarril que lo lleva hasta puerto. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

Por otro lado, una parte del carbón extraído se encuentra contaminado con material que no es de interés económico, pues proviene de la zona de los mantos que está en contacto con los estratos de roca estéril. Esta carga se lleva hasta la planta de lavado (Ilustración 23), que procesa unas 12000 a 13000 toneladas diarias, de las cuales un 70% es carbón que se recupera al final del sistema. Las etapas de este proceso son una comninución del material en un rodillo dentado y luego en una trituradora de rodillos, separación del estéril y el carbón en la torre de lavado basándose en su diferencia de densidad, separación de lodos residuales del carbón en un ciclón (aquí aplica principalmente el principio de fuerza centrífuga), a continuación el material pasa por dos tamices donde se separan una corriente fina y otra gruesa, cada una acumulada en un pila independiente. Al finalizar, el carbón recuperado se mezcla con el resto del "material limpio" y pasa por el proceso de mezcla, reducción de tamaño y despacho. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

Ilustración 23. Planta de lavado

UPM 20178C02:

Esta unidad de producción se ubica principalmente sobre el municipio de Codazzi sobre las coordenadas N09º46'12,3'' y W73º28'21,8'', tiene una producción aproximada de 9 millones de toneladas anuales y funciona 24 horas durante todo el año. En la Ilustración 24 se observa una vista general de las labores mineras adelantadas. (Comunicación Personal,17 de septiembre 2015)

Implementan un método americano de explotación con perforación, voladura y cargue sobre volquete. El desarrollo minero comienza con la remoción de capa de vegetal y el

cargue de estéril utilizando dragalinas. El transporte de estéril desde frente de trabajo hasta escombrera se hace utilizando volquetas. De igual forma, el cargue y transporte del carbón se hace con excavadoras hidráulicas y volquetas (estas últimas de menor capacidad que las usadas en el trasporte de estéril). (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

En el proceso de extracción se encuentran dos actividades auxiliares que implican uso y consumo del recurso hídrico. Estas son el lavado de equipos y el riego de vías. La primera se lleva a cabo en una zona especial, el lavadero de equipos pesados y livianos es independiente, al igual que el de los equipos de trasporte de carbón. A su vez, el riego de vías para la supresión de polvo, representa la mayor demanda de agua en la operación. El riego se ejecuta utilizando una flota de carrotanques (Ilustración 25) cargados en torres de llenado ancladas a una red de distribución y ubicadas en puntos estratégicos alrededor de toda el área intervenida. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

El carbón extraído es llevado hasta el patio de acopio, donde se acumula en pilas. Este es mezclado según indicaciones de calidad, pasa por un proceso de reducción de tamaño y luego se lleva mediante banda trasportadora hasta la torre de embarque en donde pasa al ferrocarril que lo llevará hasta puerto. Una parte del carbón que se extrae contaminado con roca estéril s almacenado en un área especial y no se utiliza para el despacho. Actualmente, existe el proyecto para la construcción y montaje de una planta de lavado en esta unidad de producción y que les permitirá aprovechar esta parte del recurso. (Comunicación Personal,16 de septiembre 2015)

Ilustración 24.Vista general del Pit UPM 20178C02

Ilustración 25. Carrotanque para riego de vías

4. MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICO

El módulo de consumo hídrico se define como “la cantidad de agua que se requiere para el desarrollo de una actividad o la obtención de un producto. Sirve para determinar los caudales o volúmenes de agua que se asignan a personas naturales o jurídicas para el desarrollo de sus actividades domésticas, agropecuarias, industriales, comerciales o de otro tipo; así mismo, sirve como criterio para determinar potenciales de ahorro y uso” (Ríos, y otros, 2010).

Una primera aproximación a los módulos de consumo hídrico en la industria minera, en la que se utilizó el caudal de vertimientos y la producción para obtener la relación de 1.43 m^3/t para carbón y 0.22 m^3/g para oro (UPME, y otros, 2014 pág. 18). Estos valores presentan una gran diferencia con la relación de demanda indicada en los capítulos 2 y 3 del presente informe que dan cuenta de 0.05 m^3/t para carbón y 6.4 m^3/g para oro.

La diferencia parece radicar en la metodología utilizada, pues UPME & UIS (2014) utilizan sólo el caudal de vertimiento, incluido el drenaje de la mina que se transita del frente de explotación al sitio de descargue sin usarse o consumirse, y sólo en algunos casos incluyó los proceso de beneficio mientras que en el presente estudio se utiliza el caudal ingresado en cada parte de la totalidad de procesos demandantes de agua en la unidad de producción minera analizada.

La literatura internacional muestra que los intentos por fijar modelos óptimos de consumo en la industria minera a escalas nacionales no han sido exitosos debido a la amplísima gama de relaciones entre múltiples tipos de yacimientos mineros y su respuesta específica ante diferentes tipos de procesos de beneficio. Dado que el efecto preciso de esas relaciones no puede evaluarse o cuantificarse de manera explícita, se ha propendido por establecer módulos de consumo hídrico para cada unidad productiva como herramienta de identificación de objetivos internos de reducción en el consumo (Golder Associates Africa, 2014).

Debe resaltarse nuevamente que los módulos de consumo hídrico de cada mina obedecen a la interacción entre la paragénesis y la tecnología disponible. Es así como las unidades productivas con módulos bajos no necesariamente sentarán la línea base para la mejora continua de aquellas con valores altos y por lo tanto deben considerarse más como referencia genérica (Golder Associates Africa, 2014 pág. 5).

Cómo se demostró en los capítulos 2 y 3, la demanda hídrica en la minería está en función del conocimiento técnico en la aplicación cada proceso, la paragénesis del yacimiento y el número de procesos requeridos para el beneficio, entre otros. En igual sentido, las diferencias entre las relaciones de consumo presentadas por UPME & UIS (2014) y

reportadas en este informe dan cuenta de la variabilidad. En consecuencia, no es posible considerar un único módulo de consumo de agua de escala nacional por proceso minero o por tipo de minería.

Bajo tales limitaciones se utilizó la metodología que para tal fin propone Área Metropolitana del valle de Aburrá (Ríos, y otros, 2010) compuesta de tres etapas: 1) identificación de los procesos, 2) medición y toma de muestras y 3) cálculo de módulos de consumo.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Se identificaron los 10 principales procesos potencialmente consumidores de agua asociados con la minería aurífera y del carbón, así: Conminución (trituración y molienda), clasificación, pre-concentración, concentración, remolienda, flotación, cianuración, amalgamación, supresión de polvo y consumo doméstico.

Dentro de estos procesos resaltan cuatro como los de mayor susceptibilidad a incrementar el consumo hídrico:

- Conminución. Las características específicas del material procesado y la costumbre en cada región determinan el uso de trituradoras de quijadas, molinos de bolas, molinos californianos, molinos chilenos y cocos o barriles.
- Clasificación. El volumen de material a procesar en el tromel o el tornillo helicoidal determinan la cantidad de agua requerida.
- Concentración. El consumo de agua está regulado por las características del yacimiento y la tecnología utilizada, que puede ser mesa vibratoria, jig, canalones y celdas de flotación.
- Cianuración. Nuevamente son las condiciones del yacimiento (peso específico, tamaño de partícula, y presencia de minerales de las que den viscosidad a la pulpa y ausencia de metales cianicidas) determinan los volúmenes de cianuro a utilizar y, en consecuencia, los de agua.

La distribución en consumo hídrico en las 47 minas auríferas evaluadas es: 1) Clasificación con el 96.03 %; 2) Concentración con el 2.11 %; 3) Pre concentración con 1.08 %; 4) Conminución con 0.64 %, distribuidos en 0.12 % para trituración y 0.52 % para molienda; 5) Hidrometalúrgia con 0.09 %; 6) Uso doméstico con 0.02 % y; 7) Fundición con el 0.01 %.

En el caso de la minería el mayor consumo ocurre en la supresión de polvo e irrigación con el 60.2 %; no obstante esta actividad sólo se registró en tres del total de minas observadas. El 39.8 % restante es usado en consumo humano.

4.2 MEDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

La construcción de un módulo de consumo hídrico en la industria minera es un proceso de análisis bajo condiciones de información escasa, en particular con las dos principales barreras técnicas que se exponen a continuación:

a) Credibilidad de volúmenes producidos.

Excepto en el llamado Formato básico minero, documento técnico y legal protegido por el secreto comercial en contrato de concesión, los mineros no están en obligación de reportar los valores de producción de sus minas. Es por este motivo que la producción nacional de minerales es estimada a partir del pago de regalías y no medida a partir de los mencionados reportes estipulados contractualmente.

Basados en la norma que establece que los mineros no están en obligación de aportar mayor información que aquella establecida en el contrato, la mayoría de mineros auríferos prefieren no suministrar las cifras reales de su producción mensual, en parte por temor a actos delincuenciales y en parte por temor a posibles auditorías de la autoridad minera.

No todos los productores mineros visitados brindaron la información solicitada sobre el material procesado en las plantas y, en particular, sobre las cantidades de oro obtenidas mensualmente. Es importante tener presente que ante la inexistencia de herramientas de validación de las cifras suministradas es posible que estas no coincidan con la realidad originando una desviación en los cálculos realizados.

b) Inexistencia de sistemas de medición de consumo

La gran mayoría de minas visitadas carece de sistemas de medición de los caudales que alimentan los procesos mineros; sólo en casos aislados existen conexiones a la red pública de agua potable para el consumo humano.

Por tal razón, y sin obviar las limitaciones asociadas con mediciones puntuales dentro de un proceso de información escasa, se hicieron aforos volumétricos durante las visitas consultando a los operarios sobre el grado de significancia de esas mediciones, es decir, si realmente lo observado en la visita representa con buen grado de aproximación los valores medidos.

4.3 CÁLCULO DE MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICO

El primer paso consistió en eliminar los datos anómalas de las mediciones realizadas en campo con el objeto de garantizar coeficientes de correlación superiores a 0.7, esto

debido al bajo grado de homogeneidad entre las unidades productivas analizadas (Casas, A.M., 2012)[128].

Para esto se utilizó el criterio de Chauvenet que permite, a partir de la media y la desviación estándar, calcular la atipicidad de un dato experimental. En términos generales, el método considera anómalo (descartable) el valor cuya diferencia con la media supere dos veces la desviación estándar.

A partir de los resultados obtenidos se retiraron las minas con datos anómalos antes de proceder a determinar el grado de correlación de Pearson entre diferentes variables con respecto al consumo global.

4.3.1 Módulos de consumo promedio

De acuerdo con la metodología propuesta por Ríos, Escobar y Palacio (2010)se obtuvieron los módulos de consumo para las regiones analizadas mediante la aplicación de la siguiente fórmula a cada mina para aplicar finalmente un promedio simple.

$$Módelo\ de\ consumo = \frac{Consumo\ global\ (m^3)}{Producción\ (t)}$$ (Ríos, Escobar, & Palacio, 2010, pág. 36)

A manera de ejemplo, en la siguiente tabla se expone el cálculo del módulo de consumo ponderado para el distrito minero de Marmato en el departamento de Caldas.

[128] Casas, A.M. (2012). *Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá.* Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

Tabla 55. Módulos de consumo hídrico promedio para el distrito minero de Marmato

MINA	Demanda hídrica total (m^3/mes)	Volumen procesado (planta)		Producción aurífera	
		(t/mes)	Módulo de consumo [m^3/t]	(g/mes)	Módulo de consumo [m^3/g]
17442O01	2427,044	520	4,67	700	3,47
17442O03	2393,7568	728	3,29		N.D.
17442O02	523,746	200	2,62		N.D.
17442O09	1239,3752	208	5,96	1000	1,24
17442O08	505,616	60	8,43	600	0,84
17614O10	491,088	26	18,89	300	1,64
17614O06	2862,08	208	13,76	700	4,09
17614O07	919,36	104	8,84	400	2,30
Módulo de consumo promedio			**8,69**		**2,34**

De esta forma se establecieron los módulos de consumo hídrico promedio para los cinco departamentos auríferos y para los tres carboneros.

4.3.2 Módulos de consumo eficiente

Para aquellos casos, como el de la industria minera colombiana, para los que no han sido estimados los módulos eficientes u óptimos de referencia, la guía propuesta por Área Metropolitana del valle de Aburrá propone la adopción del valor de la pendiente de la línea de tendencia en un gráfico de dispersión del consumo global (ordenadas) y el volumen minado o la producción de mineral (abscisas).

Gráfico 34. Tendencia de consumo de agua en las plantas de beneficio aurífero del distrito minero de Marmato. El módulo eficiente de consumo hídrico representando por la pendiente de la línea de tendencia es de 3.26 m^3/t

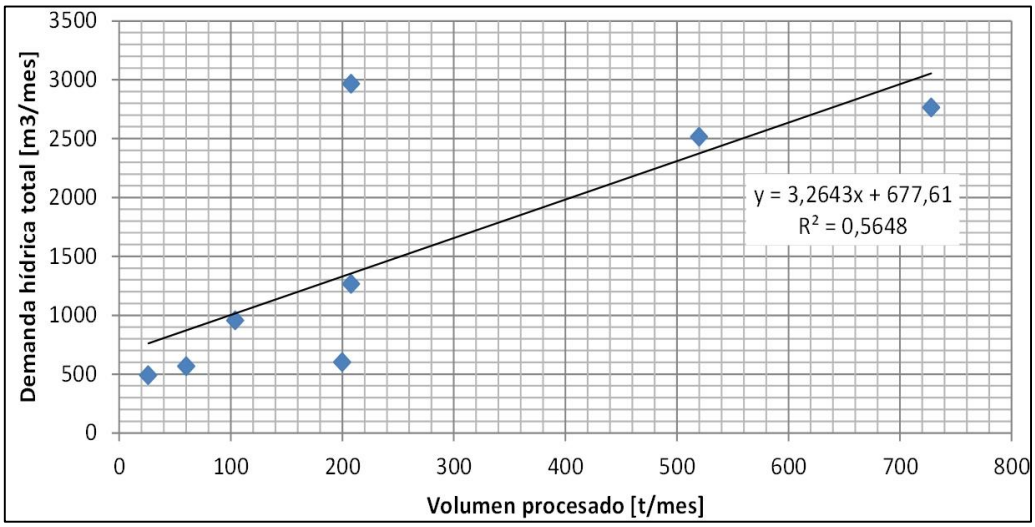
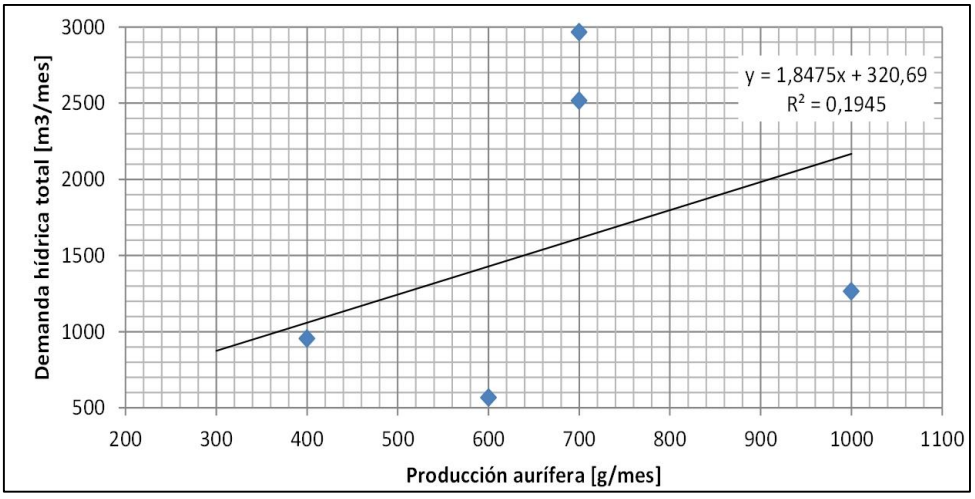


Gráfico 35. Tendencia del óptimo de consumo en la producción aurífera del distrito de Marmato. El módulo eficiente de consumo hídrico es de 1.85 m^3/g.



La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos tanto para módulos de consumo promedio como para módulos eficientes.

Tabla 56. Módulos de consumo hídrico para los distritos mineros auríferos y carboníferos analizados

DISTRITO MINERO	Módulo de consumo en planta [m^3/t]		Módulo de consumo producción [m3/g]	
	Promedio	Eficiente	Promedio	Eficiente
Bajo Cauca y Nordeste (Ant.)	4,08	2,25	N.D.	N.D.
San Martín de Loba (Bol.)	8,85	6,55	28,84	5,84
Marmato (Cal.)	8,69	3,26	2,34	1,85
El Tambo (Cau.)	9,88	8,92	1,48	1,29
Istmina (Cho.)	1,38	1,08	1,4	0,95
Zipa - Samacá (Cund. y Boy.)	0,051	0,0289	N.A.	N.A.
Amagá	0,1144	0,0133	N.A.	N.A.

Con el objetivo de conocer los módulos de consumo por tipo de proceso minero se compiló la demanda de los cinco distritos mineros analizados como se muestra en la siguiente tabla. Debido a la carencia de información sobre producción aurífera en cerca del 25% (10) de las unidades productivas mineras estudiadas se obtuvo exclusivamente el módulo de consumo en planta, es decir, con base en los volúmenes mensuales suministrados a los procesos de beneficio como se muestra en la Tabla 57.

Para determinar el módulo de consumo del proceso de trituración se utilizaron los datos del distrito minero de Marmato puesto que sólo allí se reportó su aplicación. Otros procesos, como fundición y supresión de polvo no se incluyeron pues fueron reportados por una única UPM (La Palma).

Tabla 57. Demanda hídrica consolidad por procesos mineros [m^3/mes]

PROCESOS	Bajo Cauca y Nordeste	San Martín de Loba	El Tambo	Marmato	Istmina
Trituración				3.616,7	
Molienda	872,7	8.019,7	6.572,7	749,5	
Clasificación		3.677,4	2.840,2	3.131,6	2.983.370,4
Preconcentración		37,6			33.735,8
Concentración	597,0	43.322,2	8.653,3	13.236,1	5,8
Hidrometalurgia	106,3	566,4	1.620,5	424,0	
Fundición	287,6				
Supresión de polvo	8,3				
Consumo humano	9,4	121,9	44,3	31,5	428,5
Demanda hídrica (m^3/mes)	1.881,4	55.745,2	19.741,0	21.190,8	3.017.540,5
Toneladas procesadas (t/mes)	272,4	4.768,2	7.631,2	3.484,0	2.032.074,4

La Tabla 58 muestra los valores obtenidos para los módulos de consumo, promedio y eficiente, para los diferentes procesos mineros auríferos. El valor que más resalta es el módulo de consumo de la concentración (3.24 m^3/t) que está fuertemente afectado por la demanda hídrica en el proceso de flotación de la Operadora 13667O08 en el distrito minero de San Martín de Loba. En segundo lugar se encuentra la molienda que está influida igualmente por los valores reportados en el distrito minero del San Martín de Loba.

Las distancias entre los valores de módulo de consumo hídrico promedio y el eficiente representan los retos a superar mediante la capacitación de los mineros para que ejerzan estos procesos con más técnica.

Tabla 58. Módulos de consumo hídrico por procesos mineros [m^3/t)

PROCESOS	Módulo de consumo (m^3/t)	
	Promedio	Eficiente
Trituración (sólo Caldas)	1,43	1,32
Molienda	1,49	0,92
Clasificación	0,88	0,11
Preconcentración	0,16	0,12
Concentración	3,24	1,90
Hidrometalurgia	0,21	0,21
Supresión de polvo (carbón)	0,087	0,075

La dependencia de información suministrada de manera informal por los mineros y el uso de datos de aforos puntuales, en ausencia de series históricas de consumo hídrico en los procesos mineros, se presentan como una fuerte restricción a la aplicación de las metodologías existentes y diseñadas para industrias más homogéneas.

Los aforos fueron realizados durante el tercer trimestre del año 2015, época de verano fuertemente influenciada por el fenómeno El Niño, lo que por supuesto afecta la disponibilidad de agua en algunas regiones mineras.

Es necesario implementar un plan piloto que permita determinar estos módulos con información consistente y técnicamente medida durante un período no inferior a un año normal, es decir, sin afectación del fenómeno El Niño – Oscilación de Sur (ENOS) / La Niña.

Sin obviar las restricciones impuestas a los resultados durante la implementación de la metodología presentada por Área Metropolitana del valle de Aburrá en condiciones de información escasa, el distrito minero que presenta los mejores valores, es decir, la condición más eficiente en relación con el óptimo estimado, es El Tambo en el departamento de Cauca que requiere reducciones de 0.96 m^3/t en planta y de 0.19 m^3/g en la producción de oro.

El distrito minero de Marmato exhibe mayores retos para alcanzar el óptimo de consumo a partir de su condición actual con reducciones de 5.43 m^3/t en la planta de beneficio y de 0.49 m^3/g en la producción de oro. Es en la concentración donde las UPM analizadas en este distrito muestran la mayor demanda (62.5 %) seguido de lejos por la trituración (17.1 %) y la clasificación (14.78 %).

La importancia de procesar estadísticamente la información puede verificarse al comparar el promedio simple de las relaciones de demanda obtenido para las 41 unidades mineras auríferas visitadas (47.2 m^3/g) con el promedio simple de los módulos de consumo obtenidos excluyendo los valores anómalos y presentados en la Tabla 56 (6.58 m^3/g).

En igual sentido, un promedio de módulo de consumo eficiente en la producción de oro arroja un valor de 2.48 m^3/g afectado por el distrito minero de San Martín de Loba que arroja el valor más alto (5.84 m^3/g).

Lo anterior demuestra la importancia de desarrollar módulos de consumo hídrico por distrito minero, e incluso unidades territoriales menores como subcuenca o municipio, que intentar desarrollar un único valor de alcance nacional.

En cuanto a los módulos de consumo hídrico según los diferentes procesos mineros, era previsible la fuerte influencia de las UPM con características muy específicas que demandan ingentes cantidades de agua, como las dragas de río Quito que por condiciones intrínsecas del proceso incluye grandes volúmenes de agua que no son usadas de ninguna forma durante el beneficio de los materiales del lecho aluvial.

Aunque son pocas las minas que utilizan agua para supresión de polvo de carbón, en el distrito minero de Ubaté – Ráquira se observa éste como el principal proceso consumidor (60.2 %), siendo el segundo el consumo doméstico (39.8 %).

Para el distrito minero de Amagá se encontró que el 79.1% del consumo corresponde a supresión de polvos debido al alto consumo en la única unidad minera que realiza esta actividad, el 114.9 % a consumo doméstico.

Un promedio simple de los resultados obtenidos en los cinco distritos mineros auríferos donde realizó el estudio arroja un módulo eficiente de consumo en planta de 4.82 m^3/t y de 7.45 m^3/g en producción. Sin embargo, como se mencionó anteriormente estos valores no pueden extenderse abiertamente a la industria minera nacional puesto que fueron obtenidos con datos puntuales de minas con características litológicas y técnicas propias.

Se observa una gran diferencia de estos resultados con los ofrecidos por UPME & UIS (2014) donde se indica un módulo de consumo de 1.43 m^3/t para carbón y de 0.22 m^3/g para oro (UPME, y otros, 2014 pág. 18). Infortunadamente, en dicho documento no se describe la metodología utilizada para este cálculo por lo que no resulta posible el análisis comparativo.

5. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE VERTIMIENTOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA AURÍFERA

La demanda de recurso hídrico en los sectores de minería de oro y minería de carbón, al igual que en la industria a gran escala, han sido fundamentales para el desarrollo de las operaciones unitarias que se requieren en los procesos extractivos y de beneficio. Partiendo de esta premisa se asume que los vertimientos generados en las operaciones y actividades desarrolladas en la mina son de alto volumen y de igual forma con una alta concentración de contaminantes representados en materia orgánica, sólidos y metales contaminantes que aportan una carga diaria de agentes que alterarían las características fisicoquímicas y químicas de los cuerpos de aguas en las zonas de influencia de la UPM.

La cuestionada alta demanda de recurso hídrico y la calidad deficiente del vertimiento proveniente de los procesos extractivos de estos minerales en las diferentes regiones del país; no tiene información suficiente de primera mano, evaluada en Campo que correlacione las etapas del proceso con los consumos o usos del recurso hídrico y su consecuente generación de vertimientos. Los estudios realizados en otros escenarios corresponden a datos estimados que no han sido, muchos casos, verificados en la realidad del proceso de cada una de las UPM representativas de la escala productiva del sector.

En esta etapa del estudio presentamos los Caudales y características del cuerpo de agua receptor y de los vertimientos generados, relacionando los volúmenes de recurso hídrico utilizado con cada una de las operaciones unitarias asociadas al proceso extractivo de oro y de carbón. Adicionalmente, se presenta una estructura de análisis realizados tanto al vertimiento como a los cuerpos receptores que nos permita visualizar: primero la existencia de contaminantes, segundo cual es el contaminante que más incide en la carga de los vertimientos y que puede afectar los cuerpos de aguas receptores o los sumideros ubicados aguas abajo de la UPM.

Toda la información que se presenta esta organizada con base en los niveles de producción, es información primaria, la cual ha sido tratada con base en criterios técnicos y cálculos metodológicos, para estudios posteriores se recomienda que el apoyo técnico sea en dos épocas del año, la primera en época seca y la segunda en época de lluvias para cada una de las regiones.

Esperamos que los resultados aquí presentados se puedan utilizar en la toma de decisiones del estado, entre las cuales se destaca la necesidad que tiene el sector de recibir apoyo técnico, metodológico, tecnológico y logístico, que le permita avanzar como uno de los renglones importantes en la economía del país.

5.1 MINERÍA DE ORO

5.1.1 Caudales y características del cuerpo de agua receptor y de los vertimientos generados.

a. Distrito minero del Nordeste antioqueño

Cómo se describió en el Item 2, en este distrito fueron visitadas cinco unidades productivas mineras; sin embargo, debido a un derrumbe interno la UPM 05895O02 se encontraba temporalmente inactiva por lo que no fue posible realizar el aforo de vertimientos.

Como se observa en la Tabla 59 el vertimiento tiene dos orígenes: la molienda y el consumo doméstico. En el primer caso el acumulado para las cuatro unidades aforadas es de 33.72 m^3/día provenientes del proceso de molienda.

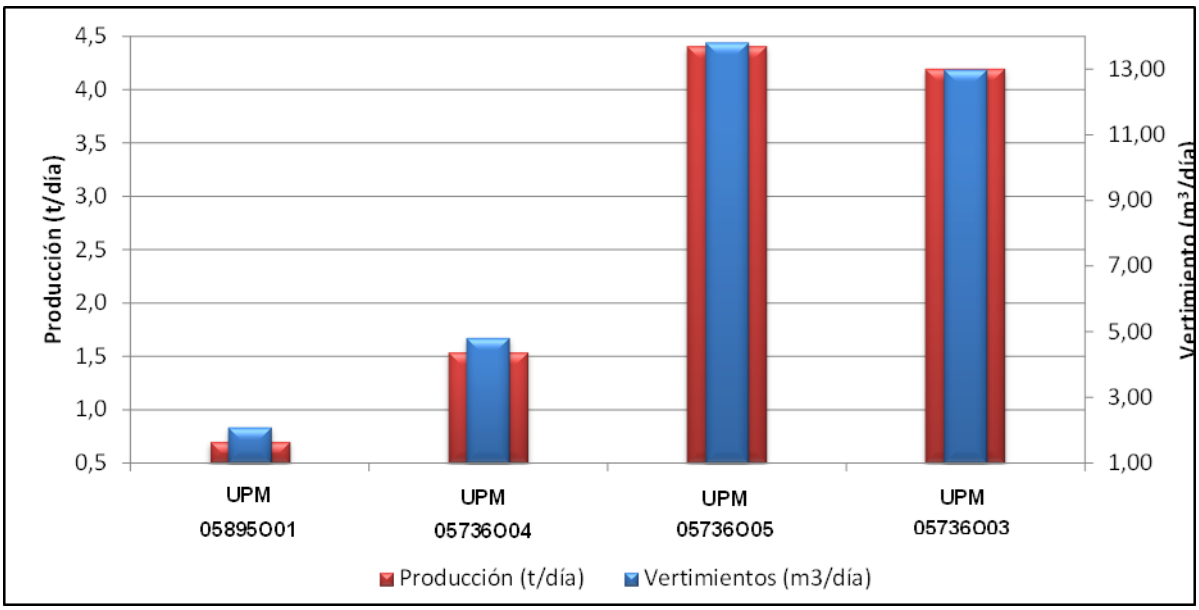
Tabla 59. Vertimientos mineros generados en el distrito del Nordeste antioqueño.

MUNICIPIO	ZARAGOZA		SEGOVIA		
UPM	UPM 05895O01	UPM 05895O02	UPM 05736O04	UPM 05736O05	UPM 05736O03
Origen del vertimiento	Molienda y Consumo Domestico	No presenta vertimiento*	Molienda y Consumo Domestico	Molienda y Consumo Domestico	Molienda
Cuerpo receptor	Quebrada Ocá		Quebrada la Cianurada	Quebrada Charco Maldito	Quebrada la Cianurada
Caudal vertido (l/s)	0,26		0,79	3,46	1,08
Volumen vertido (m^3/día)	2,09		4,82	13,82	12,99
Toneladas procesadas [t/día]	0,70	1,12	1,54	4,41	4,20
Caudal aguas arriba (m^3/h)	64,80			5,15	
Caudal aguas abajo (m^3/h)	66,24		19,44	5,51	

* Cerrada temporalmente por derrumbe interno, no fue posible medir caudal de vertimientos

El Gráfico 36 muestra la existencia de una relación directa entre el volumen procesado durante la molienda y el volumen de vertimientos generados y en consecuencia, el entable 05736O05 es el que presenta la mayor cantidad de aguas vertidas (13.8 m3/día)

Gráfico 36. Comportamiento de los caudales de vertimiento en las UPM en relación al material procesado en el distrito minero del Nordeste antioqueño.

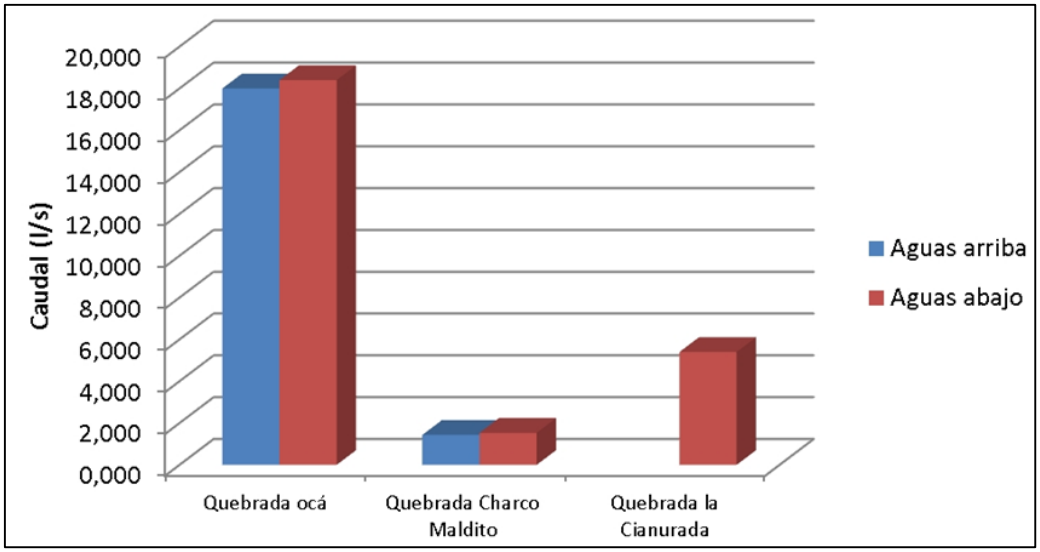


En el departamento de Antioquia se vierten aproximadamente 33,72 m^3 diarios provenientes del proceso de molienda en las cuatro UPM seleccionadas; en el Gráfico 37 donde se ilustra el comportamiento de los vertimientos en las UPM estudiadas, se observa que el principal aportante es la UPM 05736O05**.** Este gráfico muestra que existe una relación proporcional entre la cantidad de material procesado en cada molienda y el volumen de vertimientos generado en ellos**.**

En la siguiente tabla se recopilan algunas características de los vertimientos generados por las UPM estudiadas, así como características de los cuerpos receptores de los mismos.

Los caudales medidos en los cuerpos de agua receptores se caracterizan por aumentar aguas abajo del punto de vertimiento como se registra en el Gráfico 37, esta dinámica puede darse, entre otras razones, por los aportes de los vertimientos de las UPM ubicadas en la cuenca de cada cuerpo de agua.

Gráfico 37. Comportamiento de los caudales en las quebradas del departamento Antioquia



En el municipio de Segovia, el agua es captada de fuentes subterráneas y depositada como vertimiento en fuentes de agua superficiales, lo cual favorece el aumento del caudal del cuerpo receptor aguas abajo

En el municipio de Zaragoza, las UPM 05895O01 y 05895O02 se caracterizan en que las descargas de los procesos confluyen hacia un mismo punto principal, todos los vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta las piscinas de sedimentación antes de llegar al cuerpo de agua receptor.

En la UPM 05895O01 el caudal de salida medido al momento de las visitas de campo corresponde principalmente al vertimiento proveniente de los cocos amalgamadores y en la UPM 05895O02 las descargas de los procesos no fue medido en campo debido a que el entable no se encontraba en funcionamiento. Cuando está en funcionamiento el vertimiento en la zona de molienda se da con una frecuencia aproximada de 3 veces al día durante el tiempo que dure el proceso de lavado y llenado de los cocos con el material y el vertimiento en la zona de cianuración se da 1 vez al mes, cuando se inicia el nuevo proceso.

Las descargas de las UPM estudiadas en este municipio finalmente son vertidas al cuerpo de agua más cercano, en este caso la quebrada la Ocá

En las UPM, 05736O04, 05736O05 y 05736O03, las descargas confluyen hacia un mismo punto de vertimientos principal, también son dirigidos por una estructura de

canaletas de concreto hasta las piscinas de sedimentación, antes de llegar al cuerpo de agua receptor.

El caudal de salida medido en la UPM 05736O04 al momento de la visita fue de 0.79 m^3/h (0,22 l/s), sin embargo este caudal se tomó cuando el entable no se encontraba en funcionamiento normal. Por lo tanto, este no corresponde a la descarga real de los procesos normalmente realizados en el entable.

En la UPM 05736O05 el caudal de salida medido fue de 0,96 L/s, el cual corresponde al proceso de molienda y consumo doméstico.

Estas descargas son finalmente son vertidas a las quebradas Charco Maldito y La Cianurada, la cual atraviesa el casco urbano del municipio y recibe las descargas de otros entables en la zona.

En el entable 05736O03 las descargas confluyen hacia un mismo punto principal a excepción del agua usada para consumo humano y riego de calles, todos los vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta las piscinas de sedimentación antes de llegar al cuerpo de agua receptor.

El caudal de salida medido en la visita a esta UPM fue de 0,301 L/s, que corresponde principalmente al vertimiento proveniente de los cocos amalgamadores, debido a que no se estaba realizando los demás proceso durante el tiempo que se realizó la recolección de información.

Para los demás procesos en esta UPM se tiene que:

- Las descargas provenientes del proceso de concentración generalmente se generan 3 veces al día, durante el tiempo que dura el proceso.
- Las descargas provenientes del proceso de cianuración se generan cuatro veces al mes cuando se inicia nuevamente el proceso.
- Los procesos realizados en la retorta y el horno no registran vertimiento.

Las descargas correspondientes a los procesos de la etapa de beneficio son vertidas a la Quebraba La Cianurada, la cual atraviesa el casco urbano del municipio y recibe las descargas de otros entables en la zona, en cambio, el agua que es utilizada para las necesidades básica de los empleados es dirigida a un pozo, por ende no se registra el vertimiento.

b. Distrito minero San Martin de Loba

El 40% de las unidades de producción minera en el departamento de Bolívar presentan vertimientos a cuerpos de agua superficial, el otro 60% corresponde a las UPM que realizan descargas en relaves, definidos como colas o desechos de plantas de concentración de minerales (Minminas, y otros, 2003), o al suelo directamente.

Al momento de las tres visitas realizadas a la zona, se evidencio una problemática ambiental basada en la temporada seca que atraviesa el departamento, por lo cual las unidades de producción con abastecimiento de fuentes de agua superficiales, se han visto forzadas a realizar captaciones de aguas subterráneas en pozos profundos o infiltración de las bocaminas.

La UPM 13490O02 tiene dos vertimientos desde la etapa de Molienda – Amalgamación en cada uno de los entables que la conforman, hacia un solo cuerpo receptor, Quebrada Arenoso. Se realizó la medida de 0.0576 L/s para el Entable N°1, en un momento donde este no se encontraba operando, en su etapa de lavado, sino que el vertimiento medido es un rebose de la poza de sedimentación de colas número cuatro, consecuencia de cualquiera otra actividad realizada cerca alrededor de estas. En el Entable N°2, el caudal de vertimiento fue de 0.85 L/s, este fue tomado justo unos minutos después de realizar el lavado de los cocos amalgamadores.

El cuerpo de agua receptor Quebrada Arenoso, está formado en la zona sur del municipio de Norosí, donde bordea sectores mineros. Tiene características de cuerpos de agua loticos, atravesando vastas zonas de rastrojos y vegetación espesa, sirve de abastecimiento para diferentes especies nativas de la zona, siendo la principal fuente hídrica de esta, la cual se ha visto mermada por la época de sequía que se ha dado en la región. Fue imposible medir el caudal aguas arriba y abajo del proyecto minero, por la pérdida total de su corriente. El abastecimiento de la UPM para el proceso de beneficio proviene de la infiltración en la bocamina, factor que no afecta la oferta hídrica de la Quebrada Arenoso, al ser imposible tomar muestras de agua, no se logra determinar la calidad del cuerpo de agua, ni las repercusiones del proyecto minero sobre este.

La UPM 13490O01 cuenta con dos vertimientos desde el proceso de beneficio, uno proveniente de la concentración y otro de la hidrometalurgia, el primero midió 1.768 L/s mientras no se encontraban en funcionamiento todas las etapas del proceso, solo molienda primaria y una de las dos etapas de concentración. Puesto que la UPM está conformada por una planta de beneficio que demanda un alto consumo de energía y agua, para procesar la capacidad instalada. La producción es deficiente debido a los problemas de cobertura de energía y desabastecimiento de agua. La etapa de hidrometalurgia no estaba en desarrollo al momento de las visitas, por lo cual no se tiene

el dato de vertimiento. Las descargas de la UPM no vierten a un cuerpo de agua superficial, son depositadas en relaveras.

La UPM 13030O05 posee un vertimiento generado de la etapa de Molienda – Amalgamación, se tomó la medición del caudal después de la poza de sedimentación de colas, en el momento en que el entable no estaba funcionando, arrojando un caudal de 0.025 L/s.

La UPM 13030O06, tiene cuenta con cuatro vertimientos formados todos en la etapa de molienda, durante la jornada laboral de los tres entables y sitio de hidrometalurgia. En el entable N°1 se tomó la descarga del molino californiano, el cual trabaja 20 horas/día, siendo de 0.51 L/s. En el entable N°2, la descarga es de 0.95 L/s al momento del lavado de los cocos amalgamadores. Para el entable N°3 y la hidrometalurgia no se obtuvieron los datos de vertimiento, debido a que en el momento de las visitas no estaban en funcionamiento.

En la UPM 13667O04, se tomaron tres entables como puntos de estudio, donde se tomaron vertimientos, luego de las pozas de sedimentación de colas dispuestas para cada uno, no se encontraban en etapa de lavado de cocos amalgamadores, al momento de la medida. Siendo un valor producto del rebose de las pozas.

La UPM 13667O10, conformada por tres molinos californianos y dos unidades de cocos amalgamadores, tiene un vertimiento de 1.2 L/s generado por los cinco puntos de trabajo, los cuales hacen un recorrido por canaletas en el suelo dentro del área de la UPM, descargadas directamente a la quebrada El Puerto, como cuerpo de agua receptor.

La Quebrada El Puerto tiene como función principal recibir el vertimiento de la UPM 13667O10, el cual en temporada seca esta no presenta ningún tipo de recurso hídrico y en este caso el vertimiento de la UPM se infiltra en el suelo. En tiempo de lluvias su caudal crece convirtiéndose en un drenaje conector del Brazo Papayal, que a su vez se vuelve un tributario del Río Magdalena a donde caen todos los vertimientos llevados por esta. No tiene ninguna otra característica, puesto que solamente está para recibir los efluentes provenientes de procesos mineros. Al momento de la visita, se tomaron muestras aguas arriba y abajo del proyecto minero.

La UPM 13667O07 no presenta vertimiento a un cuerpo de agua superficial, la descarga de la planta de beneficio, provenientes de la concentración e hidrometalurgia, cae a piscinas de sedimentación, para una posterior recirculación. Al momento de la visita no se encontraba en etapa productiva.

La UPM 13667O03 tiene dos vertimientos desde el proceso de beneficio, uno procedente de la concentración y otro de la Hidrometalurgia. El primero pasa por unas pozas de

sedimentación antes de llegar directamente al cuerpo de agua receptor, el segundo cae a unas relaveras y desde esta vierte a La Quebrada La Danta, como el principal cuerpo de agua receptor de los procesos mineros de la UPM. Fue imposible medir los vertimientos, como resultado de nuevas labores de preparación y desarrollo al momento de las visitas a la zona.

La quebrada La Danta, ha sufrido grandes cambios tanto en su caudal como en la calidad del agua, información suministrada por los pobladores de la zona, como problemática socio ambiental. Esta da a conocer la incidencia del proyecto minero sobre la comunidad, los cultivos y la fauna de la zona. Este cuerpo de agua ha sufrido grandes bajas en su caudal debido a la sequía que se ha presentado en la región, siendo imposible medir el caudal aguas arriba y abajo del proyecto minero, en consecuencia a las condiciones de pérdida total de su corriente.

La UPM 13667O08 no presenta vertimiento a un cuerpo de agua superficial, la descarga de la planta de beneficio, proveniente de la concentración, cae a tres relaveras, para una posterior filtración y recirculación hacia las etapas del proceso de beneficio. Al momento de la visita se obtuvo un vertimiento de 4.21 L/s.

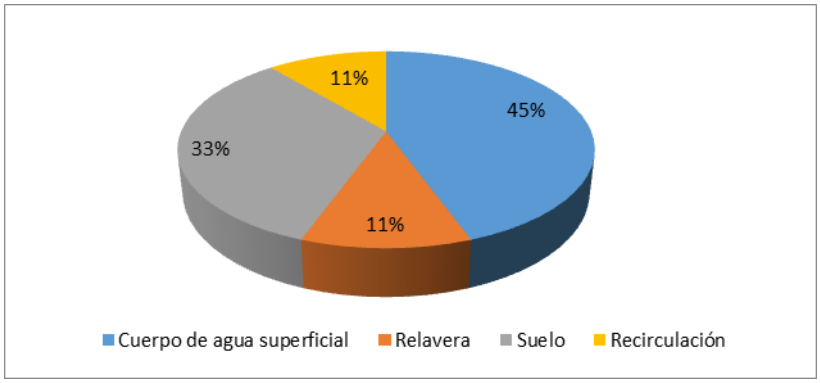
La UPM 13300O09, no presenta vertimiento a un cuerpo de agua superficial, las descargas generadas en la etapa de Molienda - Amalgamación caen a dos pozas de sedimentación. El vertimiento fue medido del rebose de las pozas, no se encontraban realizando lavado en los cocos amalgamadores, obteniendo un vertimiento de 0.01 L/s.
En la siguiente tabla se recopilan algunas características de los vertimientos generados por las UPM estudiadas, así como características de los cuerpos receptores de los mismos.

Tabla 60. Vertimientos generados por la actividad minera del departamento de Bolívar

UPM en el Departamento de Bolívar	Norosí				Altos del Rosario					San Martín de Loba								Hatillo de Loba
	UPM 13490O02		UPM 13490O01		UPM 13030O05	UPM 13030O06				UPM 13667O04			UPM 13667O10	UPM 13667O07	UPM 13667O08		UPM 13667O03	UPM 13300O09
	Entable N°1	Entable N°2				Entable N°1	Entable N°2	Entable N°3	Sitio de Hidrometalurgia	Entable N°1	Entable N°2	Entable N°3						
Origen del Vertimiento	Molienda	Molienda	Concentración	Hidrometalurgia	Molienda	Molienda	Molienda	Molienda	Hidrometalurgia	Molienda	Molienda	Molienda	Molienda	Planta de Beneficio	Molienda	Hidrometalurgia	Concentración	Molienda
Cuerpo Receptor	Quebrada Arenoso	Quebrada Arenoso	Relavera	Relavera	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Quebrada Azulita	Quebrada Azulita	Quebrada Azulita	Quebrada El Puerto	Canal de Recirculación	Quebrada La Danta	Quebrada La Danta	Relavera - Recirculación	Suelo
Caudal Vertido (L/s)	0.06	0.85	1.77	No Presenta Vertimiento	0.03	0.51	0.95	No Presenta Vertimiento	No Presenta Vertimiento	0.05	0.13	0.03	1.20	No Presenta Vertimiento	No Presenta Vertimiento	No Presenta Vertimiento	4.21	0.01
Frecuencia del Vertimiento (h/día)		1.00	3.00			20.00	2.66						8.00				20.00	
Volumen Vertido (m3/día)		3.06	19.09			36.72	9.10						34.56				303.12	
Toneladas Procesadas/día	1.00	1.04	0.45		2.52	5.00	1.20	0.90		3.50	8.64	5.60	12.00	20.00	20.00		90.00	0.90
Volumen Demandado (m3/día)	2.31	3.37	34.67		4.77	37.12	10.76	3.22	1.023	5.65	7.75	1.91	38.70	170.32	85.96		1500	7.69

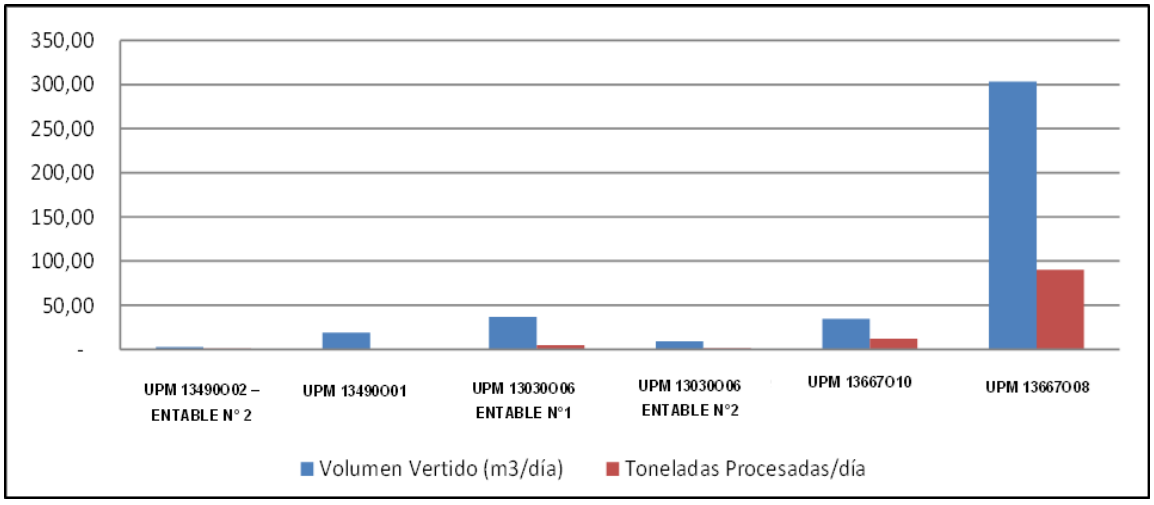
De la tabla se puede inferir que en las UPM en estudio del Departamento de Bolívar, la principal aportante en su vertimiento es la UPM 13030O06, puesto que realiza una descarga al suelo. Mientras que la UPM 13667O08 presenta un valor mayor, pero no realiza ningún vertimiento. Además se puede deducir que las UPM en estudio realizan las descargas al suelo, cuerpos de agua superficial como quebradas, relaveras y recirculación. Esta distribución en el sistema de salida, se presenta de la siguiente forma:

Gráfico 38. Vertimientos de las UPM del departamento de Bolívar



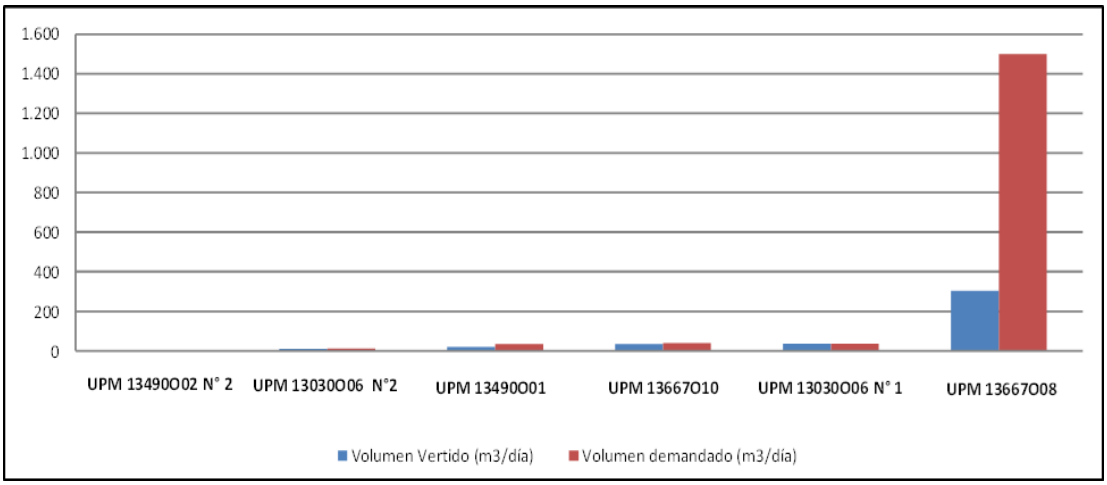
Debido a la ubicación geográfica de las UPM en estudio, en la cuenca Cauca – Magdalena, se puede decir que la oferta hídrica favorece la actividad minera, el abastecimiento y vertimiento de los proyectos durante las temporadas de lluvia anual, favorecen a una buena producción de las plantas de beneficio, al igual que el aprovechamiento de los cauces de estos cuerpos de agua superficial para las descargas de los procesos. Tales son los casos de la Quebrada Arenoso, La Danta, Azulita y El Puerto.

Gráfico 39. Comportamiento de los caudales de vertimiento en las UPM en relación al material procesado en el departamento de Bolívar.



Del anterior gráfico se puede decir que las UPM en estudio presentan una relación proporcional entre la cantidad de material procesado en cada etapa del proceso y el volumen de vertimiento generado en ellos. Solo la UPM 13667O08 tiene un comportamiento fuera del rango manejado en el departamento, puesto que en ella, se realiza una concentración en celdas de flotación espumante, las cuales demanda un volumen considerable de agua, respecto a los otros procesos evidenciados en la minería de subsistencia, como lo son la Molienda en Cocos y la Hidrometalurgia en tinas o piscinas. Solo esta UPM puede abastecer sus procesos a pesar de la temporada seca que afronta el departamento, donde se evidencia una problemática ambiental frente al suministro de agua, aspecto ambiental que no afecta el proceso de benéfico en ella, ya que realiza recirculación de las relaveras, hacia la planta de beneficio.

Gráfico 40. Comportamiento del Volumen vertido de las UPM en relación al Volumen demandado en el departamento de Bolívar.



Del anterior gráfico se puede decir que en las UPM estudiadas en el departamento de Bolívar se mantiene una relación proporcional entre el volumen demandado de fuentes de agua superficial o subterránea y el volumen vertido después del proceso de beneficio. En estos se presentan pérdidas de agua, debido a la infiltración del suelo en canales, pozas de sedimentación o relaveras.

De igual forma se presenta un comportamiento disperso para la UPM 13667O08, en su vertimiento, debido a que en las visitas realizadas a las instalaciones, no se encontraban en funcionamiento todas las etapas del proceso de beneficio, tomándose la medida solo de la descarga proveniente de la concentración en la Flotación.

c. Cauca

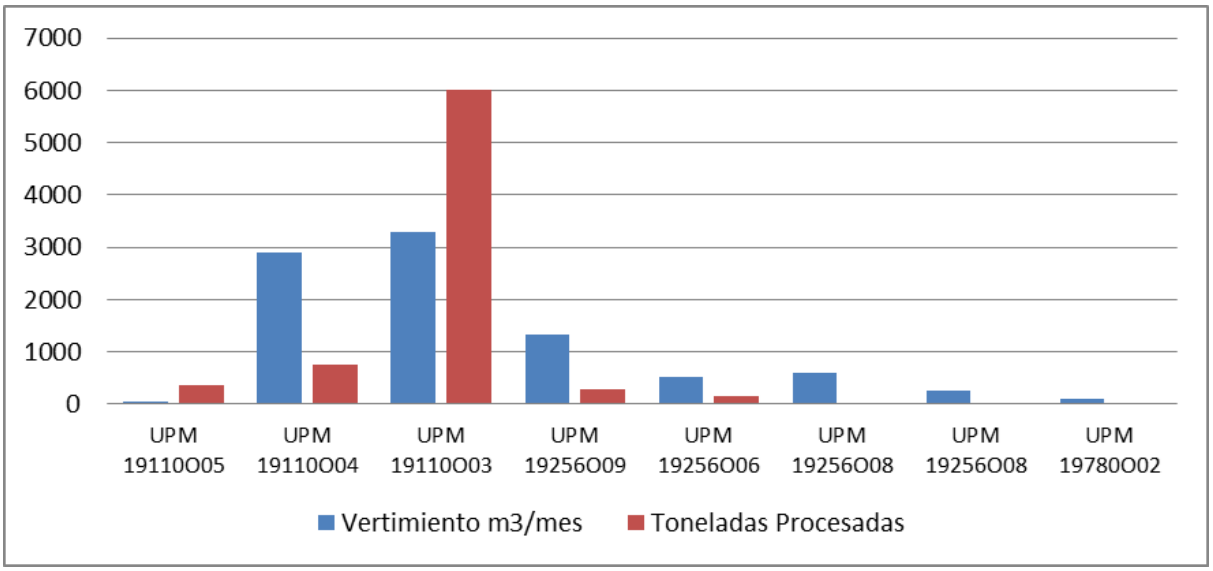
Tabla 61. Vertimiento de las UPM del departamento de Cauca

	EL TAMBO				BUENOS AIRES			SUAREZ		ROSAS
UPM	**UPM 19256O09**	**UPM 19256O06**	**UPM 19256O07**	**UPM 19256O08**	**UPM 19110O04**	**UPM 19110O03**	**UPM 19110O05**	**UPM 19780O01**	**UPM 19780O02**	**UPM 19622O10**
Origen del vertimiento	Mesa de concentración	Mesa de concentración	Relavera	Tanque de sedimentación	Mesa de concentración - marrana	Relavera	Marrana	Tanque de sedimentación	Marrana	Balde de precipitado
Cuerpo receptor	Bocamina Chede	Bocamina El Trio	Bocamina abandonada	Bocamina sector aguas claras	Bocamina Potosi	Bocamina Puchis	Rio Teta	Quebrada el Peñon	Bocamina abandonada	Quebrada Sin Nombre
Caudal vertido (l/s)	1,44 colas (0,77 l/s agua)	1,15 colas (0,75 l/s agua)	0,98	0,86	1,86 - 1,17	33,28	0,67	0,3	0,253	
Frecuencia de vertimiento (h/dia)	20	8	8	8	18	30	0,75	10	5	
Tonelas procesadas (Ton/mes)	288	144	24	28	750	6000	360	24	7,2	6
Volumen de vertimiento	55,44	21,6	*	24,8	115,6	110	1,81	10,8	4,55	**

*El volumen de vertimiento de la UPM 19256O07 no fue posible conocerlo debido a que sale de la relavera de la UPM y el caudal es alterado por otros factores como la lluvia y agua de escorrentía por lo que altera el vertimiento real del proceso minero.
**No fue posible identificar el valor del vertimiento de la UPM 19622O10 porque presentaba problemas de accesibilidad

El departamento del Cauca tiene una relación de vertimientos variados, en el Gráfico 41 se observa el comportamiento que tienen las UPM, en especial la UPM 19110O03 del municipio de Buenos Aires, siendo la que mayor aporte presenta debido a que procesa mayor cantidad de material, sin embargo su vertimiento es del 40% en relación al volumen extraído de la mina ya que el agua se recircula nuevamente al proceso.

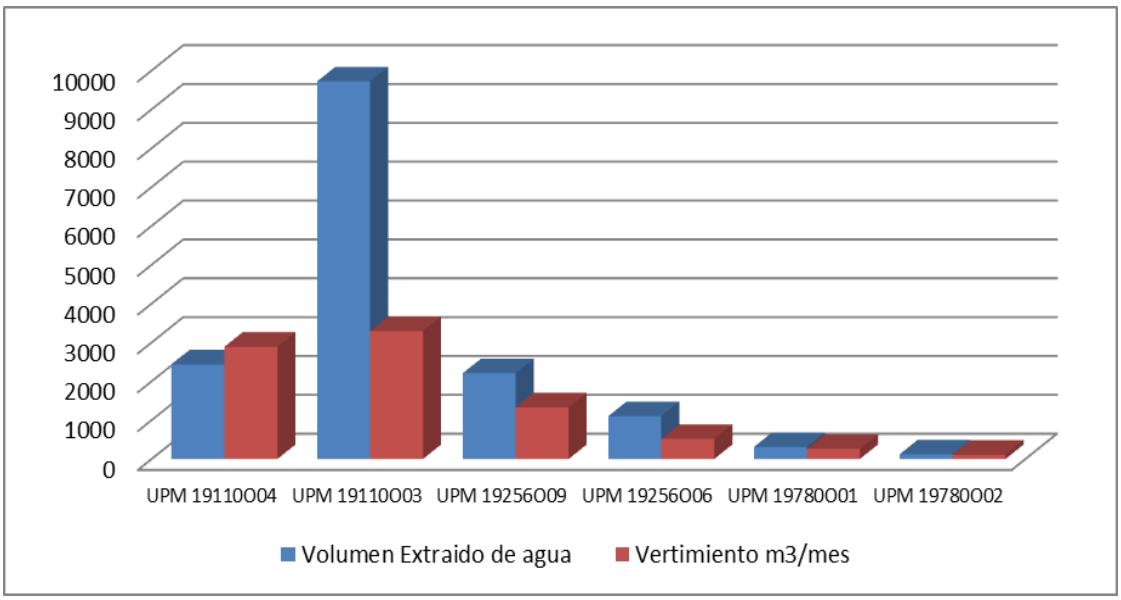
Gráfico 41. Relación de los caudales de vertimiento (m^3) en las UPM en relación al material procesado (Toneladas) al mes en el departamento de Cauca.



En el municipio del Tambo en las UPM visitadas se observa que la UPM 19256O09 es la que mayor cantidad de material procesa y por lo tanto mayor vertimiento genera en comparación con las otras 3 UMP de este municipio que procesan menos material.

En cuanto al municipio de Suarez se muestra que la relación de toneladas y vertimiento es directamente proporcional, debido a que a mayor cantidad de toneladas de mineral se procesa, mayor vertimiento de agua se presenta. Esta característica se da en todos los municipios estudiados del departamento, excluyendo UPM 19110O03 por su particularidad de tecnologías y recirculación del agua.

Gráfico 42. Comportamiento del volumen extraído y el vertimiento de las UPM (m^3/mes)



En el Gráfico 42 se muestra el comportamiento que presentan algunas de las UPM, relacionando el volumen extraído y el vertimiento después del proceso de beneficio, se observa que en la mayoría de las UPM los volúmenes que se extraen superan los volúmenes vertidos, esto se debe a que se capta el agua por lo general de las bocaminas y son almacenadas en tanques que luego recirculan el agua a los diferentes puntos del proceso.

En el municipio del Tambo la UPM 19256O07 tiene un comportamiento contrario al de las demás UPM, ya que el caudal medido del vertimiento es el que sale de la relavera a una quebrada, es decir, el agua utilizada en el proceso de beneficio se lleva a la relavera, se sedimentan los sólidos y el agua acumulada de la relavera va saliendo por una tubería a la quebrada.

En Suarez se observa en las UPM visitadas (19780O01 y 19780O02) que la relación existente de agua extraída y vertimiento es similar, porque la entrada de agua al proceso de beneficio es utilizada y a su vez e parecida al vertimiento.

d. Distrito minero de Marmato

En el departamento de caldas se estudiaron un total de 10 UPM, en 6 de estas el vertimiento que generan proviene de todos o algunos procesos de beneficio del mineral como lo son la trituración, molienda, concentración y cianuración; en las 4 restantes no se aplica el proceso de cianuración, en la UPM 17442O02 del municipio de Marmato no se realiza este proceso por que no se cuenta con las tecnologías necesarias y en las UPM del municipio de ríos sucio, porque están ubicadas en un resguardo indígena que no les permite el uso sustancias toxicas para el medio ambiente.

Tabla 62. Vertimientos generado por las UPM en el departamento de Caldas

MUNICIPIO	MARMATO							RIO SUCIO		
UPM	MINA CURIBITAL	MINA LA ERMITA	MINA LA ESPERANZA 3 - EL MANGO	MINA LA LEONA	MINA ORO FINO	PLANTA DE BENEFICIO SALOME	PLANTA DE BENEFICIO ANGELITO	MINA ALGARROBO	MINA LOS PERRERA	MINA VILLA RICA
Origen del vertimiento	Procesos de beneficio del mineral y consumo humano	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral
cuerpo receptor del vertimiento	Tanque de abastecimiento principal. reuso y otra UPM	reuso y otra UPM	Tanque de abastecimiento principal. reuso y otra UPM	quebrada san Jorge	Tanque de abastecimiento principal. reuso	Tanque de abastecimiento principal. Reuso, otra UPM y al suelo	otra UPM y quebrada pantanos	quebrada los cristales	quebrada san Sebastián y reuso	quebrada san Sebastián
Caudal del vertimiento (L/s)	0,6	0,86		6,6	0,73	0,26			1,08	0,56
Volumen vertido (m3/día)	43,2	74,48		427,68	31,54	22,48			62,09	34,27
Toneladas procesadas/día	20	28	27	28	10	8	2	1	8	4

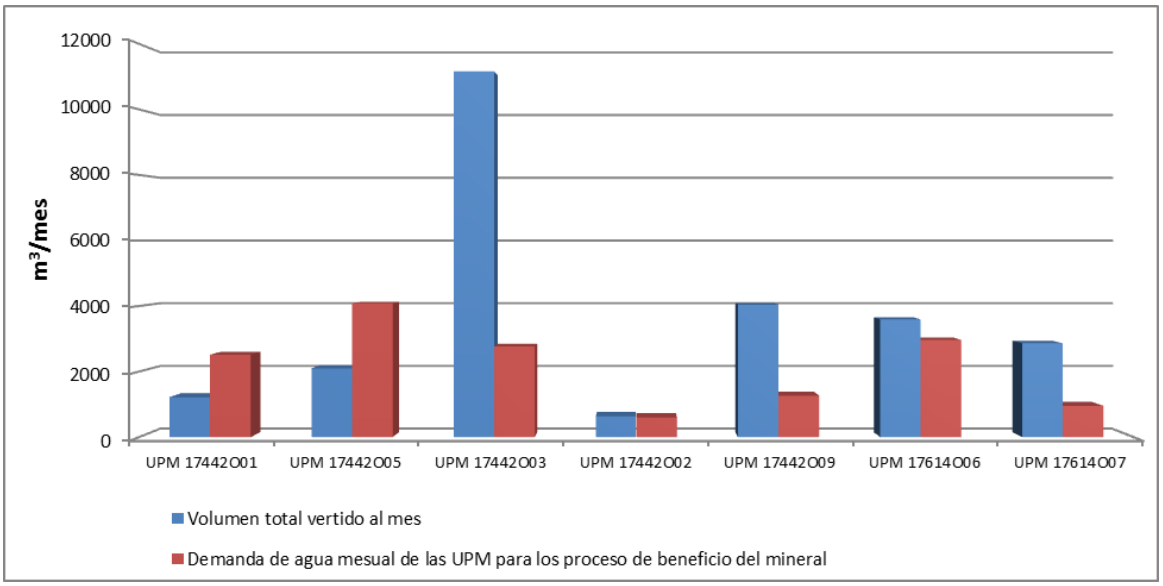
Fuente: Comunicación personal.

En las UPM 17442O01, 17442O05, 17442O04, 17442O02 y 17442O09 del municipio de Marmato y en la UPM 17614O06 del municipio de rio sucio, se realiza una recirculación de una cierta cantidad del agua usada en sus procesos, en estas UPM después de realizado los procesos de beneficio del mineral (sin incluir el proceso de cianuración, este proceso no se realiza diariamente y en todos los casos las aguas residuales provenientes de este proceso se conducen a otra UPM, para ser reutilizada), el agua se conduce a pozos de sedimentación para decantar las arenas y conducir el agua por medio de tuberías y con ayuda de motobombas de distinta potencia a sus tanques de abastecimiento principal.

Las UPM 17442O03 y 17442O08 del municipio de Marmato y UPM 17614O10 y 17614O07 del municipio de Rio sucio no reutiliza recirculación, La UPM 17442O04 realiza el vertimiento de toda el agua residual de su proceso a la quebrada San Jorge, la UPM 17442O08 conduce por medio de tuberías el vertimiento a otra UPM, para ser utilizado

en su proceso; las UPM 17614O10 y 17614O07 realizan su vertimiento en la quebrada los cristales y san Sebastián respectivamente; es importante tener en cuenta que antes de realizar la descarga, las UPM cuentan con pozos artesanales de sedimentación para decantar y recuperar las arenas del proceso de beneficio.

Gráfico 43. Comparación del volumen vertido al mes vs demanda de agua mensual de las UPM



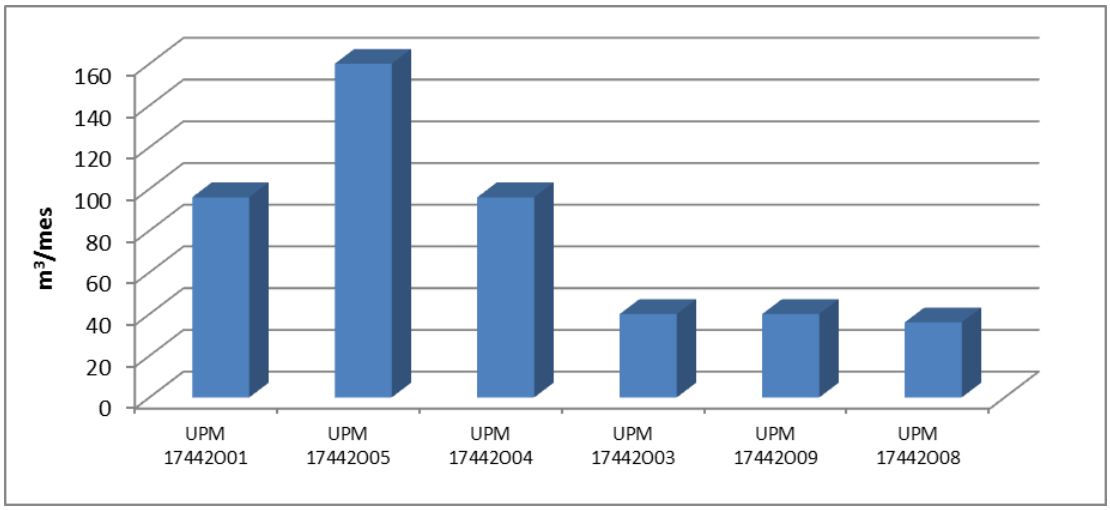
En este gráfico se incluyeron las UPM que se les calculo los datos de vertimiento y demanda, las UPM restantes no cuentan con datos del vertimiento por que no pudo ser tomado (en algunos casos por al momento de la visita no se encontraban realizando vertimiento y en otros porque el punto donde se realiza es de difícil acceso).

Las UPM visitadas ninguna contaba con medidores de caudal, es por ello que se hace difícil el cálculo del volumen de agua vertido o reutilizado. Sin embargo, se realizó el ejercicio en cada una de las UPM midiendo el caudal del vertimiento y las horas en promedio en se realiza el vertimiento que nos suministraron los trabajadores, sin embargo, como se observa en la Gráfico 44 en 5 casos de los 7 expuestos en la gráfica, el vertimientos es mayor a la demanda de agua utilizada para su proceso de beneficio, esta diferencias se presentan por diferentes variables: las horas promedio en que se realiza el vertimiento no son las suministradas, al momento de medir el caudal del vertimiento, este no se encontraba vertiendo la cantidad total del proceso, entre otras, por lo que sería necesario hacerle un seguimiento a los vertimientos y tiempos de

descarga para determinar confiablemente los volúmenes de agua residuales descargados o reutilizados.

En los otros 2 casos la UPM 17442O01 y 17442O05, el vertimiento es menor a la demanda, esto se justifica por el hecho de que ambas UPM recirculan cierta cantidad del agua de su proceso de beneficio, sin embargo al no saber la cantidad de agua vertida y recirculada con exactitud, sería necesario realizar un seguimiento a los tiempos y volúmenes del vertimiento para determinar con mayor certeza la cantidad vertida y reutilizada.

Gráfico 44. Volumen mensual del vertimiento del proceso de cianuración en las UPM del departamento de Caldas



En este gráfico solo se incluyeron las UPM que cuentan con el proceso de cianuración dentro los procesos de su benéfico del mineral.

El vertimiento del agua residual del proceso de cianuración de las UPM del municipio de Marmato tiene un promedio de 78m^3 al mes con valores que van desde los 36m^3 hasta los 160m^3, este volumen de agua es utilizado para el lavado del material y lavado de las tinas de cianuración. De las 6 UPM solo una (UPM 17442O03) no conduce el agua residual de este proceso a otra UPM para su reutilización. Esta UPM la conduce a la quebrada san Jorge. El municipio de Rio sucio no realiza este proceso dentro de su beneficio por las razones antes expuestas.

e. Distrito minero de Itsmina

El departamento de Choco por sus características pluviométricas posee una riqueza hídrica especial. En la región se encuentran muchos cuerpos de agua como arroyo, quebradas, micro y macro cuencas que se ven directamente afectadas por los vertimiento generados en la actividad minera, debido a que el agua lluvia, en el caso de la minería a cielo abierto y aluvial, es almacenada en pozos o jagüey, utilizada en el proceso de clasificación y posterior mente vertida a los cuerpos de agua alterando, según los trabajadores de las minas estudiadas, las características del agua dentro de las fuentes hídricas. Para el caso de la minería por draga de succión, el agua es tomada del rio Quito en conjunto con el material, clasificado y posteriormente pero de manera secuencia, es vertida a la misma cuenca.

En la Tabla 63 se muestran algunas características de los vertimientos generados por las UPM estudiadas en el departamento de Choco. En ella se evidencia que los vertimiento, en todas las UPM estudiadas, son originados en el proceso de beneficio, y se generan durante toda las jornada laboral, es decir; que dentro de la región, específicamente en las UPM visitas, no existe un consumo sino un uso del agua almacenada, y que de manera simultánea mientras se capta y se utiliza, así mismo es vertida.

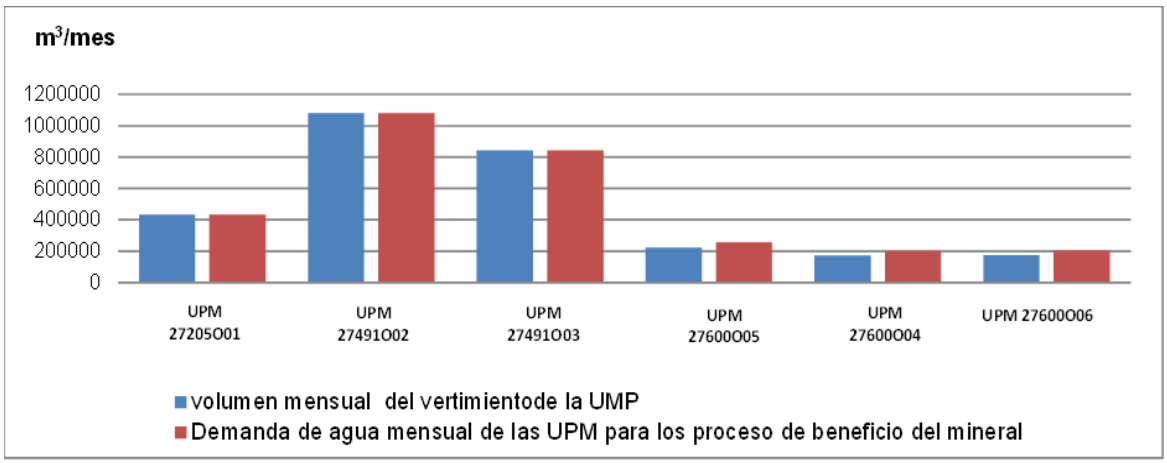
Tabla 63. Vertimientos generados por la actividad minera del departamento de Choco.

UPM	UPM 27205O01	UPM 27491O02	UPM 27491O03	UPM 27600O05	UPM 27600O04	UPM 27600O06
Origen del vertimiento	Procesos de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral	Proceso de beneficio del mineral
Cuerpo receptor del vertimiento	quebrada Los Negros	quebrada Aguas Claras	quebrada Aguas Claras	Rio Quito	Rio Quito	Rio Quito
Horas laboradas en el mes	572	572	572	600	600	600
Caudal del vertimiento (m^3/dia)	16633,83	41584,57	32434,31	8533,85	6698,05	6784,25
volumen mensual del vertimiento de la UMP	432479,57	1081198,85	843291,98	221885,38	174155,57	176395,78
Demanda de agua mensual de las UPM para los proceso de beneficio del mineral	432491,45	1081228,55	843304,35	256025,46	200953,2	203537,46
Material Procesado (m^3/dia)	2745,6	10961,28	9504	439,26	340,39	345,05

En el Gráfico 45 se ilustra el comportamiento de los vertimientos en las UPM estudiadas en comparación con el volumen de agua captada para abastecer la demanda de agua. En este gráfico muestra que existe una relación directa entre la demanda de agua requerida y el volumen de vertimientos generado en ellos**.**

Se observa que la mayor cantidad de agua demandada y vertida es la generada por los aportes de la UPM 27491O02, debido a los grandes volúmenes de material procesados en esta unidad**.** Para las UPM con explotación y beneficio de material a través de dragas de succión, los mayores volúmenes de aguas son generados en la UPM 27600O05, lo que puede estar relacionado a la capacidad del motor (680 hp de potencia) lo que genera una mayor succión de agua y material, y por ende un mayor volumen de vertimiento.

Gráfico 45. Comparación del volumen vertido al mes Vs demanda de agua mensual de las UPM



En la UPM estudiadas en la región del Choco son originados en la salida del proceso de clasificación; y las descargas son finalmente son vertidas a los cuerpo de agua más cercano, dentro de los cuales se encuentran la quebrada los negros, aguas claras y el rio quito.

En cuanto al consumo humano, no fue posible medir o determinar el volumen de agua vertida en ninguna de las UPM estudias, pero basado en el RAS 2000 se puede estimar que aproximadamente el 80% del agua destinada al consumo humano es vertida nuevamente al ambiente.

En las UPM a cielo abierto y aluvial de los municipios de Novita y Condoto estudiadas, el agua almacena una vez utilizada en el proceso de clasificación, es depositada como vertimiento en los cuerpos agua superficiales, lo cual favorece el aumento del caudal del cuerpo receptor aguas abajo. Todos los vertimientos generados en estas UPM en la etapa de clasificación, son dirigidos por escorrentía y canales realizados por los trabajadores hasta unos pozos de sedimentación antes de llegar al cuerpo de agua receptor.

Para los demás procesos en las UPM visitadas a cielo abierto y aluvial se tiene que las descargas provenientes del proceso de concentración en las UPM de minería a cielo abierto son generalmente se generan 1 ves por semana, durante el tiempo que dura el proceso.

Para el consumo humano, por ejemplo, para el caso de la UPM 27491O02 que es la unidades con mayor número de trabajadores, que de los 4,95 m^3/día que se destinan a esta actividad alrededor de 3,96 m^3/día son vertidos al suelo y por escorrentía llegan a la quebrada Aguas Claras que colinda con la UPM y es el cuerpo receptor de todos los vertimientos generados en la misma. Lo mismo ocurre con la UPM 27491O03 y 27205O01, siendo este último un caso especial debido a que los vertimientos generados en el consumo humano son vertidos en el sistema de alcantarillado del municipio de Condoto por encontrarse en el casco urbano.

En el municipio de Paimado, las UPM estudiadas, 27600O05, 27600O06 y 27600O04, se caracterizan en que las descargas de los procesos confluyen hacia un mismo punto principal, el rio Quito, sin ningún tratamiento. Para los demás procesos en las UPM visitada se tiene que:

- Las descargas provenientes del proceso de concentración se realizan 1 ves por día una vez finalizado el proceso.

- Las descargas provenientes del proceso de pre-concentración se generan 1 ves al dia durante el tiempo que demora el proceso.

- Los procesos realizados en la retorta no registran vertimiento.

Los vertimientos generados en las UPM por el consumo humano son vertidos directamente a la cuenca del rio Quito, debido a que la unidad funciona sobre el cuerpo de agua, y teniendo en cuenta que en estas UPM se trabajan los 30 días del mes los mineros viven en la unidad y todas aguas grises generadas en ella llegan directamente al rio.

5.1.2 Caracterización de la calidad del cuerpo de agua receptor antes y después del proyecto minero

Los cuerpos de aguas receptores en cada uno de los casos evaluados, representados por el área de influencia del proyecto minero o Unidad de Producción Minera, arrojaron como resultado, en algunos de los departamentos o regiones, variación en la concentración de los niveles del parámetro de sólidos suspendidos y de metales pesados presentes, como lo es el caso de la presencia de mercurio, plomo, arsénico, cadmio, cobre y zinc.

Lo anterior tiene su explicación, la cual se asocia con los procesos de remoción y manipulación de materiales extraídos del suelo, que son tratados o procesados con agua en cada una de la UPM de las regiones respectivas. El volumen de agua utilizado va a variar dependiendo de la región, la época del año y la tecnología que se esté empleando en el proceso de extracción y beneficio de los minerales.

Es de anotar, que los parámetros que contribuyen al Índice de Calidad del Agua – ICA, incluidos en este estudio, como lo es el contenido de Nitratos, DBO, Fosfatos, pH, Turbiedad, Sólidos Disueltos, entre otros, no reflejan niveles de afectación para este Índice, lo cual permite establecer que: a) los niveles de carga contaminante no están asociados al índice de referencia y b) no es adecuado para evaluar la calidad del agua superficial en los cuerpos receptores para el caso de este sector productivo del país.

Para cada región evaluada y cada mina, se obtuvieron los siguientes resultados, realizados por el Laboratorio de Aguas de la Universidad de Córdoba, acreditado por IDEAM, bajo la norma ISO 17025:2005 y el apoyo del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba. Los resultados se presentan por regiones, en orden alfabético.

a. Antioquia

Se realizó muestreo y monitoreo a 17 puntos, incluyendo los sitios ubicados aguas arriba de la mina, el vertimiento o descarga de la mina y un sitio aguas debajo de la mina. En algunos casos la fuente de abastecimiento para el proceso no era el cuerpo de agua donde se realiza la descarga del vertimiento proveniente del proceso, por lo cual se incluye este cuarto sitio en algunos casos.

Tabla 64. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Antioquia.

CODIGO DE MINA	PUNTO	COORDENADAS		ANTIOQUIA PUNTO N°
		N	W	
05895O01	P1: Entrada Mina	07° 27´01.9´´	74° 48´26.6´´	1
05895O01	P2: Salida Mina	07°27´01.3´´	74° 48´27.2´´	2
05895O01	P3: Antes descarga	07°27´00.1´´	74° 48´27.9´´	3
05895O01	P4: Después descarga	07° 26´ 52.8´´	74° 48´43.0´´	4
05895O02	P1: Entrada Mina	07° 27´05.6´´	74° 48´28.4´´	5
05895O02	P2: Salida Mina	07° 27´03.3´´	74° 48´30.7´´	6
05895O02	P3: Antes descarga	07° 27´04.6´´	74° 48´32.0´´	7
05736O05	P3: Antes descarga	07° 04´41.9´´	74° 42´11.9´´	8
05736O05	P1: Entrada Mina	07° 04´43.5´´	74° 42´19.7´´	9
05736O05	P2: Salida Mina		07° 04´45.4´´	10
05736O05	P4: Después descarga	07° 04´46.2´´	74° 42´21.7´´	11
05736O03	P1: Entrada Mina	07° 04´ 31.4´´	74° 41´58.9´´	12
05736O03	P2: Salida Mina	07° 04´31.7´	74° 41´ 59.0´´	13
Toma Acueducto - Quebrada La Cinaurada - Aguas Arriba antes de mineria - Referencia para Contaminación		07° 05´05.4´´	74° 42´58.5´´	14
05736O04	P1: Entrada Mina	07° 05´22.2´´	74° 41´ 57.4´´	15
05736O04	P2: Salida Mina	07° 05´23.4´´	74° 41´57.4´´	16
05736O04	P4: Después descarga	07° 05´37.4´´	74° 42´00.2´´	17

Los puntos 2, 6, 10, 13 y 16 corresponden los sitios de descarga de las minas, los cuales se presentan en la sección siguiente de este documento.

Se está manejando el código de mina debido a que este no es un estudio con fines de fiscalización y/o sancionatorios.

Tabla 65. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Antioquia evaluadas

ANTIOQUIA PUNTO N°	pH	Turb	SST	Acidéz	Alcalinidad	CE	SD	ST	SSED
		NTU	mg/L	mgCaCO₃/L		µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
1	4,81	1,5	9	80	20	57	30,78	39,78	<0,1
2	6,44	108	256	60	130	450	243	499	<0,1
3	5,63	0,67	10	70	75	68	36,72	46,72	<0,10
4	3,65	217	299	100	15	45	24,3	323,3	<0,1
5	5,48	2,75	10	40	25	42	22,68	32,68	<0,1
6	5,62	42,54	87,9	60	15	40	21,6	109,5	<0,1
7	6,26	5,97	6	40	65	150	81	87	<0,1
8	6,33	393	735	40	25	490	264,6	999,6	1,5
9	4,85	19,5	39	80	50	80	43,2	82,2	<0,1
10	5,74	454	572	120	105	1480	799,2	1371,2	1,5
11	6,18	246	392	50	120	510	275,4	667,4	2
12	5,21	1,96	9,00	80	80	260	140,4	149,4	<0,1
13	6,11	283	1016	60	65	420	226,8	1242,8	0,1
14	6,18	0,94	11	20	25	124	66,96	77,96	0,1
15	4,98	0,93	18	60	15	130	70,2	88,2	<0,1
16	5,99	2318	3714	80	28	160	86,4	3800,4	<0,1
17	6,31	82	399	80	45	690	372,6	771,6	1,19

ST= Sólidos totales - CE= Conductividad Eléctrica - SDT = Sólidos disueltos totales
SST = Sólidos Suspendidos Totales - SSED = Sólidos Sedimentables Totales

Los puntos 2, 6, 10, 13 y 16 corresponden a los sitios de descarga de las minas, los cuales se presentan en la sección siguiente de este documento.

Para este grupo de datos, el parámetro que presenta niveles que no le permiten cumplir, con los requerimientos de la norma, es el pH con el 60% de los datos fuera de norma, éstos se encuentran por debajo de los niveles permisibles establecidos por la Resolución 0631 del 2015, la cual entrará en vigencia en enero del año 2016. La norma establece que debe estar entre 6,0 y 9,0 unidades de pH, para los parámetros del sector de minería.

Los parámetros de DBO, sólidos, turbiedad, pH, nitratos, fosfatos, etc, que tienen que ver con la metodología de cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), no generan un valor de éste que represente una calificación acorde con la situación del ICA en los cuerpos de aguas evaluados y el vertimiento.

Se observa afectación en los niveles de sólidos suspendidos aguas debajo de la UPM, sin alcanzar niveles que sobrepasen la norma.

Tabla 66. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Antioquia evaluadas

ANTIOQUIA	fenoles	HTP	G Y A	DQO	NKT	P	NH3	DBO5	SST	SAAM	PO_4	NO_3
Punto No	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	<0,020	<0,50	<2,0	23,0	1,34	<0,30	<1,0	<2,14	9	<0,10	<0,10	<0,50
3	<0,020	<0,50	<2,0	24,3	1,15	<0,30	<1,0	<2,14	10	<0,10	<0,10	0,80
4	<0,020	<0,50	<2,0	17,2	1,51	<0,30	<1,0	<2,14	299	<0,10	<0,10	<0,50
5	<0,020	<0,50	<2,0	11,5	2,63	<0,30	<1,0	<2,14	<10,3	<0,10	<0,10	0,90
7	<0,020	<0,50	<2,0	17,2	1,85	<0,30	<1,0	<2,14	6	<0,10	<0,10	0,60
8	<0,020	<0,50	<2,0	48,5	5,88	1,11	4,37	5,49	735	<0,10	<0,10	<0,50
9	<0,020	<0,50	<2,0	20,1	9,1	<0,30	<1,0	<2,14	39	<0,10	<0,10	<0,50
11	<0,020	<0,50	<2,0	112,1	24,3	1,44	8,62	16,81	392	<0,10	<0,10	0,90
12	<0,020	<0,50	<2,0	14,4	<1,0	<0,30	<1,0	<2,14	9	<0,10	<0,10	3,7
14	<0,020	<0,50	<2,0	17,24	1,57	<0,30	<1,0	<2,14	11	<0,10	<0,10	0,60
15	<0,020	<0,50	<2,0	14,4	<1,0	<0,30	<1,0	<2,14	18	<0,10	<0,10	1,10
17	<0,020	<0,50	<2,0	31,61	4,76	1,19	3,36	<2,14	399	<0,10	<0,10	4,20

Los puntos 2, 6, 10, 13 y 16 corresponden a los sitios de descarga de las minas, los cuales se presentan en la sección siguiente de este documento.

Tabla 67. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Antioquia.

ANTIOQUIA	As	Cd	Fe	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Hg	Ag	CN-
Punto No	ug/L	ug/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	<L.D	<L.D	4,67	0,001	<L.D	0,013	<L.D	<L.D	0,018	<0,05	8,5
3	1,52	<L.D	9,54	0,001	<L.D	0,010	<L.D	0,034	0,005	<0,05	<1,0
4	2,59	1,23	10,99	0,004	0,056	0,049	<L.D	0,051	0,015	<0,05	14,8
5	<L.D	<L.D	6,30	0,004	<L.D	0,027	<L.D	<L.D	0,010	<0,05	3,6
7	<L.D	0,09	0,84	0,003	<L.D	0,058	<L.D	<L.D	0,010	<0,05	17,7
8	48,00	26,45	14,06	2,426	1,487	0,016	<L.D	0,008	3,968	<0,05	10,3
9	<L.D	165,00	14,27	0,0002	3,214	0,018	<L.D	<L.D	3,971	<0,05	10,7
11	55,31	54,00	16,43	2,870	1,771	0,007	<L.D	0,119	2,470	<0,05	12,5
12	<L.D	0,61	<L.D	4,137	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,007	<0,05	8,1
14	0,17	1,28	0,23	0,002	0,154	0,006	<L.D	<L.D	0,007	<0,05	<1,0
15	<L.D	0,20	0,00	0,001	<L.D	0,045	<L.D	<L.D	0,022	<0,05	6,3
17	24,56	248,00	7,91	2,013	3,310	0,068	0,381	0,026	1,555	0,15	28,7

Los puntos 2, 6, 10, 13 y 16 corresponden a los sitios de descarga de las minas, los cuales se presentan en la sección siguiente de este documento.

Para la región de Antioquia evaluada se observa presencia de mercurio en todas las aguas superficiales del área de influencia de las minas evaluadas, 100% presencia en niveles superiores a la normatividad, que entrará en vigencia para el año 2016

El perfil de metales pone de manifiesto la presencia de metales de interés sanitario y ambiental como lo es el caso de Arsénico, el cual se encuentra en niveles que superan los permitidos por la normatividad colombiana. El 58,2 % de los sitios evaluados manifiesta presencia de Arsénico en el agua.

De forma general se observa la presencia elevada de valor de hierro y otros metales pesados como Cadmio y Plomo por encima de los niveles permisibles; para el 76,5% de los casos el hierro sobrepasa el límite permisible establecido en la resolución 0631 de 2015 .

Para el caso del Cadmio, el 29,4% de los sitios evaluados contiene niveles por encima de los permitidos en Colombia, el 10% corresponde a descargas de las minas evaluadas. En cuanto al Plomo, el 41,2% manifiesta presencia de plomo en niveles por encima de los permitidos, la situación es similar a la experimentada por el Cadmio, el 10% corresponde a descargas de las minas evaluadas. El resto se encuentra en el cuerpo de

agua de abastecimiento, posiblemente por vertimientos ocurridos en sitios aguas arriba de la toma y vertimiento de los sitios evaluados.

La presencia de cianuro está asociada a las actividades de extracción del oro por métodos de cianuración, implementados en la zona como alternativa para reemplazar el uso de mercurio en los procesos extractivos de oro.

En la tabla siguiente se presentan los resultado de ICA asociados a los cuerpos de agua de la región de Antioquia evaluada, como se puede observar, los niveles de obtenidos para calificar ICA, mantienen la Calidad de las aguas en nivel medio y bueno, con valores por encima de 60.

Gráfico 46. Comportamiento del índice de calidad sitios del departamento de Antioquia

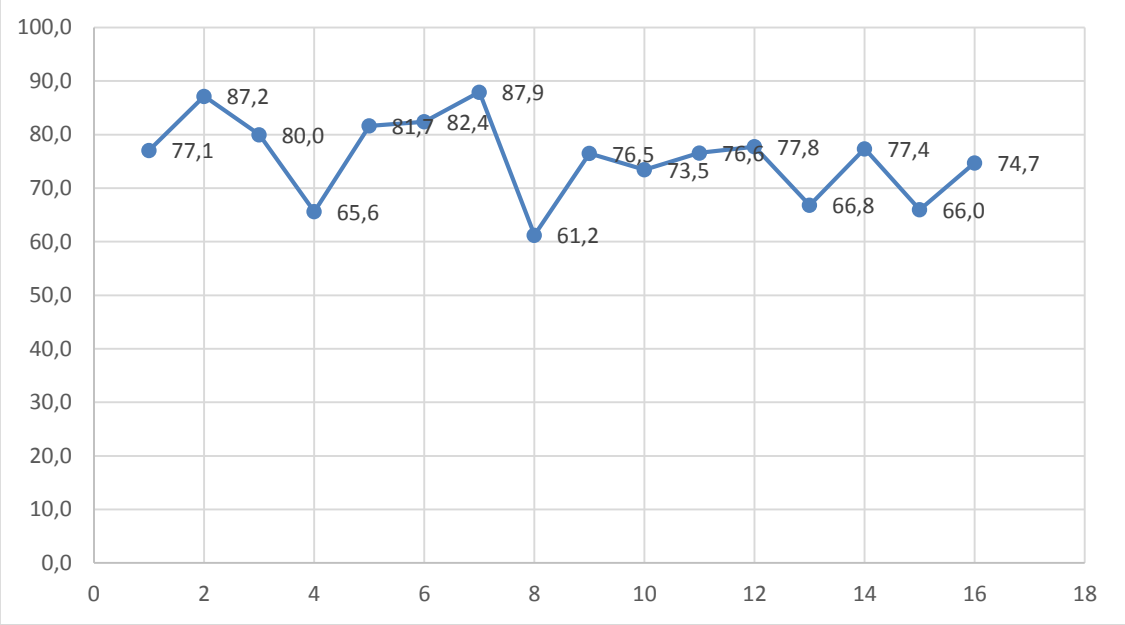


Tabla 68. Resultados de Contenido de Fenoles en aguas muestreadas las zonas de las UPM del Departamento de Antioquia.

	Fenoles												
ANTIOQUIA PUNTO N°	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Dicloro	4-Cloro -3-Metil	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Penta cloro	2,4,6 . Tricloro	Fenoles Totales	HTP
	µg/L												mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
9	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
11	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	0,85
12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
13	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
14	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
16	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
17	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17

El grupo de fenoles no presentó parámetros que estuviesen por encima de los niveles permitido por la nueva normatividad enmarcada en la resolución 631 de 2015, del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible.

Tabla 69. Resultados de Cálculo de ICA para todas las zonas de las UPM del Departamento de Antioquia.

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN CADA PUNTO DE MUESTREO			ANTIOQUIA
Sitio de Monitoreo	ΣP_{ii} = WQI	VALORACIÓN	
MINA ORO VERDE 1 - POZA - AGUA ENTRADA POCESO	77,1	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
MINA ORO VERDE 1 - DESCARGA MINA	87,2	CALIDAD BUENA	La descarga de la mina se observa incolora, sin sólidos en suspensión ni residuos observables
MINA ORO VERDE 1 - ANTES DESCARGA MINA	80,0	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
MINA ORO VERDE 1 - DESPUES DESCARGA MINA	65,6	CALIDAD MEDIA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
MINA ORO VERDE 2 - ANTES DESCARGA ARROYO	81,7	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
MINA ORO VERDE 2 - DESCARGA	82,4	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
MINA ORO VERDE 2 - DESPUES DESCARGA - ARROYO	87,9	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
ENTABLE EL TORITO - ANTES QUEBRADA CHARCO MALDITO 1	61,2	CALIDAD MEDIA	presentaba turbiedad, se percibía mal olor, coloración oscura y sólidos en suspensión
ENTABLE EL TORITO - ENTRADA PROCESO - AGUA POZO	76,5	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
ENTABLE EL TORITO - SALIDA PROCESO	73,5	CALIDAD BUENA	el vertimiento se observó de color oscuro, con olor característico a cianuro y con sedimentos
ENTABLE EL TORITO - DESPUES QUEBRADA CHARCO MALDITO 2	76,6	CALIDAD BUENA	presentaba turbiedad, se percibía mal olor, coloración oscura y sólidos en suspensión
ENTABLE LA PALMA - ENTRADA AGUA POZO SUBTERRANEA	77,8	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
ENTABLE LA PALMA - DESCARGA	66,8	CALIDAD MEDIA	se observaba turbia, se percibía mal olor, coloración oscura y sólidos en suspensión
ENTABLE LA ORQUIDEA - ENTRADA PROCESO - AGUA POZO SUBTERRANEA	77,4	CALIDAD BUENA	Agua incolora, sin sólidos en suspensión, no presentaba turbiedad ni otra señal de mala calidad
ENTABLE LA ORQUIDEA - DESCARGA	66,0	CALIDAD MEDIA	la descarga se observaba turbia, se percibía mal olor, coloración oscura y sólidos en suspensión
ENTABLE LA ORQUIDEA - AGUA ABAJO - QUEBRADA LA CIANURADA MINERIA	74,7	CALIDAD BUENA	se observaba turbia,, coloración oscura y sólidos en suspensión

b. Bolívar

Se realizó muestreo y monitoreo a 29 puntos, incluyendo los sitios de Mina.

Tabla 70. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Bolívar

CÓDIGO DE MINA	SITIO	COORDENADAS		PUNTO
		N	W	
13667O10	P1: Entrada Mina	08°56´40.6´´	74° 02´17.9´´	1
13667O10	P2: Salida mina	08°56´37.8´´	74° 02´18.5´´	2
13667O08	P1: Entrada Mina	08°56´16.01´´	74° 02´37.5´´	3
13667O08	P2: Salida mina	08°56´14.6´´	74° 02´39.8´´	4
13667O07	P1: Entrada Mina	08° 56´22.3´´	74° 02´45´´	5
13667O07	P2: Salida mina	08° 56´20.2´´	74° 02´46.6´´	6
13490O01	P1: Entrada Mina	08° 34´07.1´´	74° 05´43.6 ´´	7
13490O01	P2: Salida mina	08° 34´07.1´´	74° 05´43.6 ´´	8
13300O09	P1: Entrada Mina	08° 57´56,5´´	74° 01´33.8 ´´	9
13300O09	P2: Salida mina	08° 57´55,7´´	74° 01´34.3 ´´	10
13667O03	P1: Entrada Mina	08° 39´22.2 ´´	74° 05´48.2´´	11
13667O03	P2: Salida mina	08° 39´26.3 ´´	74° 05´53.7´´	12
13030O06	P1: Entrada Mina	08° 48´12.8´´	74° 04´28.6´´	13
13030O06	P2: Salida mina	08° 48´12.7´´	74° 04´28.0 ´´	14
13667O04	P1: Entrada Mina	08° 40´47.8´´	74° 04´54.4´´	15
13667O04	P2: Salida mina	08° 40´52´´	74° 04´55.7´´	16
13667O04	P4: Aguas abajo mina	08° 40´51.5´´	74° 04´56.9´´	17
13030O05	P1: Entrada Mina	08° 45´28.4´´	74° 06´17.7´´	18
13490O02	P1: Entrada Mina	08° 35´43.9´´	74° 05¨ 24.5´´	19
13490O02	P2: Salida mina	08° 35´44.5´´	74° 05¨ 24.1´´	20
QUEBRADA MONTECARMELO		08° 47´08.9´´	74° 06´01.7´´	21
QUEBRADA PLAN BONITO		08° 43´36.1´´	74° 05´36.0´´	22
QUEBRADA MEJÍA	P1: Aguas Arriba	08° 41´03.0´´	74° 06´04.3´´	23
QUEBRADA MEJÍA	P2: Aguas Abajo	08° 41´26.5´´	74° 05´39.8´´	24
QUEBRADA PUEBLO MEJÍA	Corregimiento	08° 40´48´´	74° 04´58.5´´	25
QUEBRADA CHUCHA GORDA		08° 52´39.4´´	74° 05´02.8´´	26
13667O04		08° 40´48.7´´	74° 04´ 55.0´´	27
13667O10	P3 Antes Descarga	08° 56´36.2´´	74° 02´21.6´´	28
13667O10	P4 - Después Descarga	08° 56´36.2´´	74° 02´21.6´´	29

En la siguiente se presentan los datos correspondientes a los cuerpos de aguas receptores de los vertimientos provenientes de las UPM del departamento de Bolívar, ubicados en la región del Sur de Bolívar.

Tabla 71. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Bolívar evaluadas

BOLIVAR PUNTO No	pH	Turb NTU	Acidez mgCaCO₃/L	Alcalinidad	CE µS/cm	SD mg/L	SST mg/L	ST mg/L	SSED mg/L
1	7,99	10	34	350	290	145	39	184	<0,1
2	8,41	169	28	225	4200	2100	213	2313	0,5
3	7,98	113	34	160	1057	528,5	3772	4301	<0,1
4	10,2	184	48	125	930	465	13825	14290	<0,1
5	8,04	10	25	215	1050	525	46	531	<0,1
6	10,2	118	48	125	1130	565	183	578	<0,1
7	8,85	4	30	125	1742	871	<LC (6)	874	<0,1
8	10,84	12,7	22	140	760	380	86	466	0,5
9	7,54	15	24	265	785	392,5	61	401,5	<0,1
10	7,52	176	32	255	700	350	197	367	0,1
11	8,54	139	24	175	430	215	148	223	<0,1
12	7,67	171	38	40	1118	559	236	592	<0,1
13	6,02	3,12	80	90	750	375	<LC (6)	378	<0,1
14	6,99	>1000	84	155	970	485	7380	7865	0,5
15	7,12	0,87	38	125	560	280	<LC (6)	283	<0,1
16	7,17	124	28	180	660	330	146	476	<0,2
17	7,63	173	32	72	630	315	410	725	<0,1
18	6,15	304	22	160	550	275	566	841	0,8
19	7,52	25	38	110	780	390	82	393	<0,1
20	7,84	188	42	145	883	441,5	1453	1895	<0,1
21	6,93	20	75	205	210	105	36	121	0,2
22	7,45	0,9	35	80	150	75	<LC (6)	78	<0,1
23	7,42	9	125	55	290	145	15	160	0,1
24	7,02	12,31	40	50	500	250	18	268	0,3
25	3,57	332	425	750	4350	2175	414	2289	0,2
26	6,63	17,52	50	70	128	64	41	105	0,1
27	6,89	403	55	130	610	305	746	1051	1
28	7,56	1,43	85	245	1110	550	12	562	<0,1
29	7,43	18,08	160	390	1080	520	10	530	0,3

ST= Sólidos totales - CE= Conductividad Eléctrica - SDT = Sólidos disueltos totales
SST = Sólidos Suspendidos Totales - SSED = Sólidos Sedimentables Totales

Los puntos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25 y 27 corresponden a los sitios de descarga de las minas.

Para este grupo de datos, el parámetro que presenta niveles que no le permiten cumplir, con los requerimientos de la norma, es los sólidos suspendidos, éstos se encuentran por encima de los niveles permisibles establecidos por la Resolución 0631 del 2015, la cual entrará en vigencia en enero del año 2016. La norma establece que debe estar por debajo de 50 mg/L.

Tabla 72. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Bolívar evaluadas

BOLIVAR PUNTO No	DBO5 mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	G Y A mg/L	SAAM mg/L	P mg/L	PO4 mg/L	NKT mg/L	NH3 mg/L	NO2 mg/L	NO3 mg/L
1	<2,14	20.12	39	<2,0	<0,10	<0,30	0,3	<1,0	<1,0	3,76	2,21
2	<LC (2.14)	28.74	213	<LC (2)	<LDM(0,1)	<0,30	0,34	<LC(1)	<1,0	<LC(0,005)	5,48
3	16	43.10	3772	2.5	<0,10	<0,30	0,54	<1,0	<1,0	<0,005	8,99
4	60	63.22	13825	<LC (2)	<0,10	0,83	<LDM(0,1)	<1,0	<1,0	1,16	4,4
5	<2,14	11.49	6	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	2,1
6	<2,14	25.86	13	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<LC(1)	<1,0	<0,005	<LDM(0,5
7	<2,14	22.99	<LC (6)	<2,0	<0,10	0,51	<0,10	3,47	<1,0	<0,005	<0,50
8	<2,14	28.74	86	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	2,86	<LC(1)	<LDM(0,01	<LDM(0,5
9	<2,14	<LC (9.3)	9	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	0,021	0,50
10	<LC (2.14)	<LC (9.3)	17	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	0,153	1,4
11	11.1	45.98	8	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	3,55
12	11.3	14.37	33	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	8,38
13	<2,14	<LC (9.3)	<LC (6)	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	5,24
14	<2,14	25.86	7380	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<LC(0,005)	1,86
15	<2,14	31.61	<LC (6)	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	0,31	2,63
16	2.7	17.24	146	<2,0	<0,10	0,71	<0,10	<1,0	<1,0	<LC(0,005)	6,18
17	9.9	28.74	410	<2,0	<0,10	0,44	<0,10	<1,0	<1,0	0,56	2,24
18	<2,14	22.99	566	<2,0	<0,10	<0,30	0,26	<1,0	<1,0	<0,005	5,14
19	<2,14	14.37	82	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	9,6
20	6.30	28.74	1453	<2,0	<0,10	<0,30	<0,10	<LC(1)	<LC(1)	<0,005	8,33
21	23	63,22	16	<2,0	<0,10	1,04	<0,10	8,6	3,3	<0,005	2,5
22	10,5	17,24	<LC (6)	<2,0	<0,10	<LC(0,3)	<0,10	<1,0	<1,0	0,02	<0,50
23	18,6	43,1	15	<2,0	<0,10	0,38	0,46	2,9	1,12	0,9	2,50
24	12,4	25,86	18	<2,0	<0,10	0,32	0,25	<1,0	<1,0	0,22	1,00
25	124	178,6	114	<2,0	<0,10	0,56	0,41	<1,0	<1,0	0,04	<LDM(0,5
26	5,6	17,24	41	<2,0	<0,10	0,42	0,21	<1,0	<1,0	<0,005	0,70
27	10,6	160,92	746	<2,0	<0,10	0,79	3,1	<LC(1)	<LC(1)	0,06	1,70
28	4,1	45,98	12	<2,0	<0,10	0,78	0,53	3,1	1,45	0,09	0,90
29	7,4	28,74	10	<2,0	<0,10	0,81	<0,10	<1,0	<1,0	<0,005	<0,50

Los puntos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25 y 27 corresponden a los sitios de descarga de las minas.

Los resultados obtenidos para este bloque de parámetros, Tabla 41, que tiene incidencia en el calcula del índice de calidad de las aguas superficiales, ICA, se presenta valores de interés en el parámetro de sólidos suspendidos, los cuales están asociados a los vertimientos provenientes de las UPM en el área de influencia de éstas.

Los parámetros que se clasifican como nutrientes, que alterarían los cuerpos de aguas de la zona de influencia de las UPM, se encuentran en niveles que no permitirán los procesos de eutrofización en los sistemas lenticos de la región. La relación de Carbono, Nitrógeno, Fosfato no están en los niveles que permitan este fenómeno.

Tabla 73. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Bolívar

BOLIVAR PUNTO No	As mg/L	Cd mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	Ni mg/L	Cu mg/L	Cr mg/L	Hg mg/L	Ag mg/L
1	0,100	0,0003	0,29	0,0596	<L.D	<L.D	<L.D	0,062	1,26	<0,05
2	0,05	0,0007	1,30	0,1140	0,07	0,04	<L.D	0,043	3,57	<0,05
3	0,093	1,3740	80	3,3310	4,1	0,06	0,54	0,134	1,19	<0,05
4	0,053	0,3610	48	3,7150	4,1	0,02	0,27	0,274	10,98	<0,05
5	0,002	0,0092	0,07	0,0033	0,15	0,03	<L.D	0,037	0,03	<0,05
6	0,003	0,0006	0,40	0,0020	<L.D	0,03	<L.D	0,039	7,32	<0,05
7	0,002	0,0001	0,41	0,0047	<L.D	0,02	0,12	0,043	0,03	<0,05
8	0,002	0,0037	1,74	0,0032	0,41	0,02	1,9	0,051	5,95	<0,05
9	0,002	0,0002	0,25	0,0214	<L.D	0,02	<L.D	0,036	0,01	<0,05
10	0,003	0,0009	1,24	0,0565	0,13	0,01	<L.D	0,042	5,12	<0,05
11	0,019	0,0013	0,87	0,0578	0,09	0,01	<L.D	0,045	0,01	<0,05
12	0,006	0,0010	0,26	0,0355	0,13	0,01	<L.D	0,044	5,67	<0,05
13	0,002	0,0012	0,16	0,0015	0,10	0,02	<L.D	0,041	0,06	<0,05
14	0,088	0,2580	265	2,8220	4,3	0,08	3,0	1,102	14,63	0,14
15	0,015	0,0001	0,18	0,0043	<L.D	0,02	<L.D	0,037	0,08	<0,05
16	0,028	0,0060	5	0,5150	1,13	0,02	0,03	0,097	2,74	<0,05
17	0,015	0,0101	4	0,4610	1,10	0,02	0,02	0,044	0,22	<0,05
18	0,064	0,0004	13	0,0126	0,04	0,01	<L.D	0,035	0,06	<0,05
19	0,001	0,0010	1,28	0,0017	0,39	0,02	<L.D	0,036	0,11	<0,05
20	0,093	0,0035	80	9,2840	2,8	0,02	8,5	0,196	2,38	0,08
21	0,01	<L.D	5	0,0006	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,01	<0,05
22	0,00	<L.D	0,21	0,0001	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,02	<0,05
23	0,00	<L.D	2	0,0006	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,00	<0,05
24	0,01	0,0004	1,41	0,0096	0,34	<L.D	<L.D	<L.D	0,82	<0,05
25	0,08	1,3210	98	9,6650	6	0,11	6,8	0,00	3,97	0,11
26	0,01	0,0004	1,20	0,0050	0,07	<L.D	<L.D	<L.D	3,29	<0,05
27	0,10	0,3500	177	33,3540	4,7	0,02	1,8	0,00	16,10	<0,05
28	<L.D	<L.D	0,18	0,0002	<L.D	0,03	<L.D	<L.D	0,00	<0,05
29	0,09	0,0008	2,39	0,0016	<L.D	0,03	<L.D	<L.D	0,01	<0,05

Los puntos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25 y 27 corresponden a los sitios de descarga de las minas.

Para el caso de los metales pesados evaluados, en el Sur de bolívar, se observa presencia de mercurio en concentraciones iguales o superiores a los niveles permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015.

El 83 % de los puntos evaluados presentaron resultados positivos a concentraciones de mercurio con niveles de interés ambiental.

El 100% de las muestras evaluadas presentaron concentraciones de arsénicos en niveles inferiores a los establecidos en la resolución de vertimientos, sin embargo, es de anotar que los niveles en algunos casos (19%) se acercan al límite permitido

El contenido de Plata en agua en el 100% de las muestras no fue detectado por las metodologías de análisis empleadas.

El punto número 3, que corresponde a un sitio aguas arriba de una de las UPM, se observa presencia de metales como Cadmio, Plomo, mercurio y un nivel de arsénico cercano a los niveles permisibles.

La tabla 44, pone de manifiesto la presencia de cianuro en los cuerpos de agua que se encuentran en el área de jurisdicción de las UPM que utilizan en sus operaciones de cianuro para el proceso extractivo de oro en el Sur de Bolívar.

Con respecto a los iones adicionales, se observa un incremento en los contenidos de ión sulfato y en algunos casos se observa un incremento en los niveles de sulfuros en los cuerpos de aguas, asociados a la remoción de material de mina que permite la proyección de estos iones

Las sales de calcio y carbonatos asociados, encargados de impartir dureza a los cuerpos de afecta a menos del 15% de las quebradas de la región evaluada.

Tabla 74. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Bolívar.

BOLIVAR PUNTO No	Cl- mg/L	SO_4^- mg/L	S- mg/L	Dca mgCaCO3/L	DT mgCaCO3/L	CN- mg/L
1	40.78	1300	3,6	250	500	<2,5
2	52.28	1075	1,2	66	310	<2,5
3	19.29	1037.5	<LDM(0,5)	77	156	<2,5
4	34.19	1200	<LDM(0,5)	310	374	<2,5
5	66.48	1350	2,4	68	464	<2,5
6	84.97	2012.5	1,7	234	750	41,2
7	<LC (3.15)	887.5	0,5	20	28	4,2
8	<LC (3.15)	1337.5	6,4	348	370	51,5
9	57.98	825	0,9	77	267	<2,5
10	40.08	900	1,1	49	249	<2,5
11	8.99	887.5	2,1	62	114	<2,5
12		1687.5	1,4	466	490	9,0
13	9.99	1175	1,4	186	307	<2,5
14	19.99	1375	1,8	88	230	<2,5
15	12.40	1000	0,7	124	214	<2,5
16	15.40	950	0,8	56	236	<2,5
17	27.79	1762.5	2,6	136	210	<2,5
18	8.99	1425	1,0	79	198	8,6
19	27.79	2175	0,9	144	286	<2,5
20	31.09	2587.5	0,8	16	180	
21	9,99	<LDM(5,19)	0,4	92	140	15,65
22	4,2	<LDM(5,19)	1,2	29	30	29,4
23	10,19	1900	<LDM(0,5)	62	79	9,72
24	14,49	124	<LDM(0,5)	112	151	<2,5
25	<LC(3,15)	33	<LDM(0,5)	1400	1740	15,9
26	<LC(3,15)	<LDM(5,19)	<LDM(0,5)	20	22	11,1
27	32,39	140	<LDM(0,5)	138	166	
28	45,68	149	0,4	60	340	<2,5
29	50,48	181	<LDM(0,5)	126	402	<2,5

Tabla 75. Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Bolívar.

	FENOLES												
BOLIVAR	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Diclaro	-3-Metil	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Penta claro	2,4,6 . Triclaro	Fenoles-T	HTP
PUNTO No						µg/L							mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
9	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
11	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
13	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
14	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
16	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
17	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
18	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
19	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
21	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
22	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
23	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
24	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
25	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
26	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
27	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
28	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
29	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17

En los cuerpos receptores se observa que no hay presencia de hidrocarburos y fenoles en concentraciones superiores a las establecidas en la resolución 631 de 2015.

Las operaciones unitarias que se utilizan en la zona, para el momento del estudio no presentan insumos que puedan generar estos contaminantes en los cuerpos de aguas, asociados al vertimiento

c. Caldas

Se realizó muestreo y monitoreo a 37 puntos, incluyendo los sitios de Mina.

Tabla 76. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Caldas

CODIGO DE MINA	PUNTO	COORDENADAS		CALDAS
		N	W	PUNTO N°
17442001	P1: Entrada Mina	05° 23'30.2''	75° 36'15.9''	1
17442001	P2: Salida Mina: Salida Mina	05° 23'30.2''	75° 36'15.9''	2
17442001	P4: Después Descarga	05° 28'21.5''	75° 36'7.8''	3
17442002	P1: Entrada Mina	05°29'45.2''	75° 37'14.9''	4
17442002	P2: Salida Mina: Salida Mina	05°29'43.1''	75° 37'14.2''	5
17442002	P3: Antes Descarga	05° 29'56.5''	75°37'10.1''	6
17442003	P1: Entrada Mina	05°29'50.3''	75° 36'7.5''	7
17442003	P2: Salida Mina: Salida Mina	05° 29'50.3''	75° 36'6.7''	8
17442003	P3: Antes Descarga	05° 29'51.7''	75° 36'14.7''	9
17442004	P1: Entrada Mina	05° 28'59.4''	75° 36'11.7''	10
17442004	P2: Salida Mina: Salida Mina	05° 28'57.6''	75° 36'11.4''	11
17442004	P4: Después Descarga	05° 28'31.6''	75° 35'46.3''	12
17442005	P1: Entrada Mina	05° 28'19.9''	75°35'42.4'	13
17442005	P2: Salida Mina: Salida Mina	05°28'20.1''	75°35'40.4''	14
QUEBRADA SAN SEBASTIAN	P3: Antes Descarga	5° 26'16.9''	W 75°41'34.0''	15
QUEBRADA SAN SEBASTIAN	P4: Después Descarga	N05° 25'51.2''	W 75° 39'0.0''	16
17614006	P1: Entrada Mina	05° 26'19.0''	W 75° 41'28.0''	17
17614006	P2: Salida Mina: Salida Mina	N 05° 26'19.5''	W 75° 41'25.8''	18
17614006	P3: Antes Descarga	N05° 26'17.2''	W 75° 41'26.4''	19
17614006	P4: Después Descarga	N 05°26'19.5''	W 75°41'25.2''	20
17614007	P1: Entrada Mina	N° 05° 26'19.4''	W 75° 41'27.9''	21
17614007	P2: Salida Mina: Salida Mina	N 5° 26'18.1''	W 75° 41'26.5''	22
17614007	P3: Antes Descarga	N 05° 26'18.0''	W 75° 41'27.1''	23
RÍO SUPIA - AGUAS ARRIBA	P3: Antes Descarga	N ° 05° 25'53.6''	W 75° 39'1.2''	24
RÍO SUPIA - AGUAS ABAJO	P4: Después Descarga	N 05° 25'49.6''	W 75° 39'59.2''	25
17442009	P1: Entrada Mina	N 05° 28'20.8''	W 75° 35'43.4''	26
17442009	P2: Salida Mina: Salida Mina	N 05° 28'20.5''	W 75° 35'42.3''	27
17442008	P1: Entrada Mina	N 05° 28'37.1''	W 75° 35'58.4''	28
17442008	P2: Salida Mina: Salida Mina	N 05° 28'38.0''	W 75° 35'57.7''	29
17614010	P1: Entrada Mina	N05° 26'29.5''	W 75° 42'17.6''	30
17614010	P3: Antes Descarga	N05° 26'33.9''	W 75° 42'11.2''	31
17614010	P4: Después Descarga	N 05° 26'45.9''	W 75° 42'19''	32
QUEBRADA LA CRISTALINA	P4: Después Descarga	N 05° 26'47.7''	W 75° 42'20.4''	33
RÍO SUPIA - AGUAS ARRIBA AL VERTIMIENTO DE LA QUEBRADA CRISTALINA	P3: Antes Descarga	N 05° 26'47.2''	W 75° 42'20.9''	34
RÍO SUPIA - AGUAS ABAJO AL VERTIMIENTO DE LA QUEBRADA CRISTALINA	P4: Después Descarga	N 05° 26'48.3''	W 75° 42'19.7''	35
17442001	P2: Salida Mina: Salida Mina	75° 36'16.6''		36
17442001	P2: Salida Mina: Salida Mina	05° 28'31.1''	75°36'16.6''	37

Tabla 77. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Caldas evaluadas

CALDAS PUNTO N°	pH	Turb	SST	Acidéz	Alcalinidad	CE	SD	ST	SSED
		NTU	mg/L	mgCaCO₃/L		µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
1	6,53	18,28	22	15	55	120	64,8	86,8	<0,1
2	5,47	151	210	140	40	1054	569,16	779,16	0,5
3	6,34	>1000	5625	40	95	2708	1462,32	7087,32	0,2
4	5,48	101	210	55	30	405	218,7	428,7	0,2
5	6,55	180	89	50	45	408	220,32	309,32	3,2
6	7,34	>2000	6390	15	52	25	13,5	6403,5	3,8
7	7,40	>1000	4863	20	60	20	10,8	4873,8	3,4
8	6,55	254	12360	70	55	2114	1141,56	13501,6	3,2
9	7,29	>1000	4340	45	50	410	221,4	4561,4	1,1
10	7,05	3,15	563	25	60	670	361,8	924,8	0,1
11	7,29	25,4	22	30	60	115	62,1	84,1	<0,1
12	7,12	>1000	28025	35	85	1709	922,86	28947,9	0,2
13	7,7	175	219	25	60	260	140,4	359,4	0,3
14	7,05	726	464	30	30	990	534,6	998,6	0,5
15	7,6	16,35	20	15	90	470	253,8	273,8	0,1
16	8,9	>1000	4615	25	125	750	405	5020	2
17	7,7	152	1178	60	190	430	232,2	1410,2	1
18	7,9	>1000	24680	130	75	1130	610,2	25290,2	200
19	7,5	>1000	17655	35	210	45	24,3	17679,3	190
20	7,5	>1000	18390	45	210	1110	599,4	18989,4	550
21	7,8	1,94	12	80	195	150	81	93	0,1
22	8,2	428	460	60	175	1540	831,6	1291,6	13
23	7,8	1316	1830	50	90	570	307,8	2137,8	100
24	8,5	27,39	6	15	95	80	43,2	49,2	0,3
25	8,8	642	594	15	60	260	140,4	734,4	4
26	6	16,7	204	70	70	510	275,4	479,4	1,4
27	6,3	399	778	55	50	870	469,8	1247,8	1,3
28	3,3	270	119	530	12	420	226,8	345,8	0,1
29	4,4	>1000	1072	475	180	3640	1965,6	3037,6	2
30	6,5	65	34	45	80	130	70,2	104,2	0,1
31	6,7	1868	576	25	125	1380	745,2	1321,2	0,9
32	6,54	1810	1014	25	130	480	259,2	1273,2	0,4
33	6,75	1732	932	25	80	690	372,6	1304,6	0,5
34	6,78	12,46	10	20	80	171	92,34	102,34	0,1
35	6,99	25,69	38	25	2715	290	156,6	194,6	0,1
36	5,76	>>>1000	35820	0	700	310	167,4	35987,4	0,5
37	6,06	>>>1000	28320	0	10	7450	4023	32343	0,2

Tabla 78. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Caldas

CALDAS PUNTO N°	As	Cd	Fe	Pb	Zn	Nl	Cu	Cr	Hg	Ag
					mg/L					
1	0,012	0,0018	1,1	0,0096	<L.D	<L.D	0,1	0,027	0,015	<0,05
2	0,069	0,187	69,21	1,31	4,54	<L.D	0,2	0,075	0,183	0,21
3	0,078	24,104	1971,16	629,45	10,63	0,15	8,72	3,97	0,549	0,25
4	0,021	0,0273	11,42	7,06	1,18	<L.D	0,1	0,035	0,010	<0,05
5	0,026	0,264	10,85	0,0501	1,86	<L.D	0,1	0,037	0,001	<0,05
6	1,401	0,253	242,39	4,08	4,72	0,52	7,28	0,366	0,007	0,27
7	0,371	0,086	67,16	2,18	3,70	<L.D	0,7	0,087	0,008	0,23
8	0,605	0,792	312,86	0,90	7,49	<L.D	2,36	0,366	0,172	0,08
9	0,351	0,090	70,03	1,89	7,49	<L.D	0,7	0,091	0,016	0,18
10	0,075	0,159	14,15	1,09	5,16	<L.D	0,2	0,083	0,006	0,10
11	0,008	0,0357	0,8	0,0958	1,23	<L.D	0,1	0,054	0,012	<0,05
12	1,361	2,970	216,07	2,66	8,78	0,16	5,24	0,409	0,067	0,07
13	0,093	0,0076	14,82	1,02	2,08	<L.D	0,2	0,063	1,670	<0,05
14	0,095	0,069	18,85	0,92	2,07	<L.D	0,2	0,091	3,018	<0,05
15	0,000	0,0004	0,1	<L.D	<L.D	0,01	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
16	0,049	0,0025	7,09	0,0086	0,08	0,02	<L.D	<L.D	0,066	<0,05
17	0,007	0,0002	0,9	0,0001	<L.D	0,01	<L.D	<L.D	0,006	<0,05
18	0,033	0,0093	5,89	0,0072	0,12	0,03	<L.D	0,006	0,039	<0,05
19	0,000	0,0004	0,0	<L.D	<L.D	0,03	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
20	0,020	0,0012	5,70	0,0054	0,09	0,03	<L.D	<L.D	0,035	<0,05
21	0,001	0,0000	<L.D	<L.D	<L.D	0,01	<L.D	0,013	<L.D	<0,05
22	0,009	0,0001	2,0	0,0055	<L.D	0,01	<L.D	0,012	0,013	<0,05
23	0,008	0,0002	3,1	0,0028	<L.D	0,03	<L.D	0,014	0,009	<0,05
24	0,001	0,0003	<L.D	0,0062	<L.D	0,02	<L.D	0,014	<L.D	<0,05
25	0,008	0,0001	1,0	0,0052	<L.D	0,01	<L.D	0,010	0,001	<0,05
26	0,035	0,0056	4,97	0,0209	0,9840	0,01	<L.D	0,013	0,101	<0,05
27	0,016	0,0023	3,55	0,0040	0,40	0,03	<L.D	0,013	0,043	<0,05
28	0,013	1,023	13,61	0,40	8,10	0,13	0,6	0,017	<L.D	<0,05
29	0,068	0,871	16,57	1,43	8,25	0,16	0,6	0,088	0,004	<0,05
30	0,014	0,0180	2,1	0,0035	1,30	0,01	<L.D	0,007	<L.D	<0,05
31	0,009	0,0004	0,4	0,0010	<L.D	0,02	<L.D	0,007	0,004	<0,05
32	0,017	0,0055	3,9	0,0237	0,11	0,02	<L.D	0,019	0,027	<0,05
33	0,008	0,0028	1,7	0,0063	<L.D	0,01	<L.D	0,018	0,012	<0,05
34	0,001	0,0001	0,2	0,0010	<L.D	0,01	<L.D	0,007	<L.D	<0,05
35	0,002	0,0007	0,6	0,0035	<L.D	0,01	<L.D	0,010	0,001	<0,05
36	0,057	5,517	76,87	2,60	10,22	0,54	27,57	0,113	0,015	2,00
37	0,630	0,569	463,27	20,62	7,68	0,14	1,21	0,75	0,005	0,21

Tabla 79. Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Caldas

	FENOLES												
CALDAS PUNTO N°	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Diclaro	4-Cloro-3-Metil µg/L	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Pentacloro	2,4,6. Triclaro	Fenoles T	HTP mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
9	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
11	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
13	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
14	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
16	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
17	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
18	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
19	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
21	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
22	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
23	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
24	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
25	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
26	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
27	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
28	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
29	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
30	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
31	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
32	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
33	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
34	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
35	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
36	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
37	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17

Tabla 80. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Caldas evaluadas

CALDAS PUNTO N°	DBO5	DQO	SST	G Y A	SAAM	P	PO4	NKT	NH3	NO2	NO3
	mg/L										
1	<2.14	12,8	22	<LC(2)	<0,1	0,77	0,07	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
2	<2.14	35,2	210	<LC(2)	<0,1	0,96	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
3	<2.14	108,8	5625	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	10,92	5,6	0,029	<0,50
4	<2.14	<9,3	210	<LC(2)	<0,1	0,65	<0,1	2,57	<LC(1)	<0,01	<0,50
5	2,4	12,8	89	<LC(2)	<0,1	2	<0,1	2,35	<LC(1)	<0,01	<0,50
6	<2.14	16	6390	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	2,35	<LC(1)	<0,01	<0,50
7	<2.14	<9,3	4863	<LC(2)	<0,1	3,91	0,12	1,51	<LC(1)	<0,01	<0,50
8	<2.14	14,2	12360	<LC(2)	<0,1	0,76	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
9	6	13,4	4340	<LC(2)	<0,1	0,59	0,34	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
10	5,6	16	563	<LC(2)	<0,1	1,63	0,15	2,7	1,12	0,04	<0,50
11	<2.14	<9,3	22	<LC(2)	<0,1	1,38	<0,1	3,9	1,79	0,04	<0,50
12	<2.14	35,2	28025	<LC(2)	<0,1	6,36	0,15	11	5,88	0,04	<0,50
13	4,5	25,6	219	<LC(2)	<0,1	1,49	<0,1	1,1	<LC(1)	<0,01	<0,50
14	3,8	22,4	464	<LC(2)	<0,1	1,41	<0,1	2,7	1,3	<0,01	<0,50
15	<2.14	<9,3	20	<LC(2)	<0,1	5,19	<0,1	10,1	<LC(1)	<0,01	<0,50
16	<2.14	<9,3	4615	<LC(2)	<0,1	0,95	0,36	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
17	7,5	60,03	1178	<LC(2)	<0,1	1,09	0,77	19,93	1,12	0,1	<0,50
18	<2.14	381	24680	<LC(2)	<0,1	2,57	0,18	6,77	<LC(1)	0,37	<0,50
19	3,3	95,72	17655	<LC(2)	<0,1	8,75	<0,1	4,54	2,46	<0,01	<0,50
20	4,4	300	18390	<LC(2)	<0,1	3,51	<0,1	4,48	<LC(1)	<0,01	<0,50
21	16,5	53,54	12	<LC(2)	<0,1	1,39	1,8	23,8	12,32	<0,01	<0,50
22	10,05	146,02	460	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	0,2	17,42	14,11	0,02	<0,50
23	5	389	1830	<LC(2)	<0,1	8,75	0,26	5,54	5,2	0,04	<0,50
24	<2.14	<9,3	6	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	0,12	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
25	<2.14	<9,3	594	<LC(2)	<0,1	1,53	0,11	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
26	34,5	153	204	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	12,09	10,58	<0,01	<0,50
27	2,9	159	778	<LC(2)	<0,1	0,54	<0,1	12,5	11,52	<0,01	<0,50
28	<2.14	14,6	119	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
29	<2.14	79,5	1072	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
30	<2.14	40,56	34	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
31	<2.14	<9,3	576	<LC(2)	<0,1	0,58	0,35	<LC(1)	<LC(1)	0,09	<0,50
32	4	19,47	1014	<LC(2)	<0,1	1,15	0,17	<LC(1)	<LC(1)	0,09	<0,50
33	<2.14	21,09	932	<LC(2)	<0,1	1,11	0,11	<LC(1)	<LC(1)	<0,01	<0,50
34	<2.14	<9,3	10	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	0,01	<0,50
35	<2.14	<9,3	38	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	<LC(1)	<LC(1)	0,08	<0,50
36	690	381	35820	<LC(2)	<0,1	<LC(0,3)	<0,1	2,52	1,16	0,4	<0,50
37	<2.14	284	28320	<LC(2)	<0,1	3,07	0,17	10,04	1	0,02	<0,50

Tabla 81. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Caldas

CALDAS PUNTO N°	Cl-	SO4	S-	Dureza Total	Dureza Cálcica	COLOR	CN-
	mg/L			$mgCaCO_3/L$	$mgCaCO_3/L$	UPC	mg/L
1	<3,15	116	1,2	56	38	15	3
2	11,5	161	<LDM(0,5)	82	38	30	17
3	58,78	2300	<LDM(0,5)	148	142	15	10
4	8,5	114	0,8	70	54	7,5	3
5	<3,15	112	1,2	74	49	30	22
6	5,49	71	1,6	33,6	14	14	3
7	4,79	141	1,6	32	14	30	5
8	18,39	1800	1,2	1340	1260	12,4	11
9	3,8	160	2,0	168	140	15,8	3
10	5,4	400	2,4	202	160	7,5	4
11	<3,15	700	1,6	50	40	7,5	11
12	29,99	900	0,8	82	72	15	8
13	9,39	40	1,2	48	46	5,4	4
14	7,19	600	0,8	262	216	7,4	11
15	11,6	83	<LDM(0,5)	172	82	15	1
16	21,9	810	<LDM(0,5)	138	32	34,8	1
17	22,29	26	<LDM(0,5)	88	66	30	3
18	78,07	600	0,8	<LC(5)	<LC(6,67)	225	1
19	33,5	47	0,8	156	32	15	1
20	66,28	47	<LDM(0,5)	166	26	18,4	1
21	24,69	9	1,2	80	54	45	9
22	25,99	60	<LDM(0,5)	100	78	30	4
23	17,19	900	0,8	186	32	35	1
24	14,39	12	<LDM(0,5)	68	54	15	1
25	13,39	24	1,2	80	56	7,5	2
26	21,14	48	<LDM(0,5)	182	80	30	1
27	22,69	269	<LDM(0,5)	194	86	15	2
28	9,39	710	0,8	1620	1160	15	1
29	<3,15	620	1,2	3720	2800	30	2
30	<3,15	750	0,8	608	110	30	1
31	17,79	75	1,6	136	74	15	1
32	38,18	266	0,8	218	24	24,6	2
33	32,18	800	<LDM(0,5)	202	20	15	1
34	24,89	19	1,2	68	48	7,5	1
35	23,69	22	2,4	72	54	7,5	2
36	2172	930	14,8	132	126	30	155
37	24,29	139	<LDM(0,5)	466	250	30	9

d. Cauca

La región del Cauca evaluada posee zonas con uso intensivo de mercurio en sus operaciones, de la misma forma, hay minas de mediana escala de producción que han cambiado sus procesos extractivos al de extracción de oro con uso de metodologías y técnicas basadas en aplicación de cianuro.

Tabla 82. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Cauca

CODIGO DE MINAS	PUNTO	COORDENADAS		CAUCA PUNTO N°
		N	W	
19780001	P1: Entrada Mina	N02°56'16.4''	W76°41'34.7''	1
19780001	P2: Salida Mina	N02°56'16.4''	W76°41'34.7''	2
19780002	P1: Entrada Mina	N02°55'56.5''	W76°43'07.1''	3
19780002	P2: Salida Mina	N02°55'47.2''	W76°43'00.1''	4
19110003	P1: Entrada Mina	02°08'37''	76°38'40.9''	5
19110003	P2: Salida Mina-P4: Después descarga	02°58'40.1''	76°39'22.2''	6
19110003 - DESCARGA Relavera	P2: Salida Mina	02°58'52.7''	76°38'37.7''	7
19110003 - DESCARGA - Lixiviados	P2: Salida Mina	02°58'52.9''	76°38'37.7''	8
19110003 - Agua Arriba Quebrada Madroño	P3: Antes descarga	02°58'29.0''	76°38'32.8''	9
19110004	P1: Entrada Mina	N02°58'39.2''	W76°39'21.3''	10
19110004	P2: Salida Mina	N02°58'40.1''	W76°39'22.2''	11
RÍO TETA - AGUA ARRIBA	P1: Entrada Mina	N02°59'02.4''	W76°38'54.3''	12
RÍO TETA - AGUAS MEDIO	P2: Salida Mina	N02°58'36.2''	W76°39'29.2''	13
RÍO TETA - AGUAS ABAJO	P3: Antes descarga	N02°57'49.8''	W76°39'30.4''	14
RÍO TETA - LA BALSA	P4: Después descarga	N03°04'14.3''	W76°34'26.7''	15
19110005 - TOMA RÍO TETA	P1: Entrada Mina	N°02°57'54.1''	W76°39'32.1 ''	16
19110005 - DESCARGA HACIA RÍO TET	P2: Salida Mina	N°02°57'54.1''	W76°39'31.8''	17
19110005 - DESPUÉS DESCARGA RÍO	P4: Después descarga	N°02°57'54.1''	W76°39'31.8''	18
RÍO CAUCA - PUENTE	P1: Entrada Mina	N03°05'30.0''	W76°35'56.6''	19
19256006	P1: Entrada Mina	02°30'04.0''	76°55'11.0''	20
19256006	P2: Salida Mina	02°30'03.2''	76°55'07.8''	21
19256006 - Aguas Arriba Quebrada Aguas Claras	P3: Antes descarga	02°30'07.7''	76°55'11.1''	22
19256006 - AGUAS ABAJO - QUEBRADA AGUAS CLARAS	P4: Después descarga	02°30'04.6''	76°55'06.4''	23
19256009 - ENTRADA	P1: Entrada Mina	02°30'01.1''	76°55'22,5''	24
19256009 - SALIDA	P2: Salida Mina	02°30'00.0''	76°55'21.5''	25
19256008 - ENTRADA	P1: Entrada Mina	02°30'00.6''	76°55'15.7''	26
19256008 - SALIDA	P2: Salida Mina	02°30'00.6''	76°55'13.4''	27
19256007 - ENTRADA	P1: Entrada Mina	02°30'04.9''	76°55'12.2''	28
19256007 - SALIDA	P2: Salida Mina	02°30'05.5''	76°55'10.8''	29
19622010-Entrada Agua Quebrada	P1: Entrada Mina	02°14'19.1''	76°45'41.0''	30
19622010 - Agua Arriba Quebrada Ujgua	P3: Antes descarga	02°14'05.5''	76°45'27.4''	31
19622010 - Agua Abajo Quebrada Ujgua	P4: Después descarga	02°14'04.5''	76°45'29.1''	32
RÍO TETA AGUAS ABAJO - LA VETICA		02°59'55.6''	76°37'50.2''	33

Tabla 83. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Cauca evaluadas

CAUCA PUNTON°	pH	Turb NTU	Acidéz mgCaCO$_3$/L	Alcalinidad mgCaCO$_3$/L	CE µS/cm	SD mg/L	SST mg/L	ST mg/L	SSED mL/L/H
1	7,57	3,74	10	20	20	10,8	6	16,8	<LC(0,1)
2	7,34	7,08	10	15	40	21,6	1647	1668,6	0,15
3	7,08	0,65	30	80	270	145,8	6	151,8	<LC(0,1)
4	7,26	18,3	80	160	710	383,4	9872	10255	3
5	7,84	1,28	16	55	650	351	6	357	<LC(0,1)
6	7,63	81	40	60	100	54	132	186	0,3
7	8,03	19,6	40	60	3540	1911,6	253	2164,6	0,2
8	6,61	1,93	30	50	860	464,4	6	470,4	<LC(0,1)
9	7,14	7,36	15	30	40	21,6	6	27,6	<LC(0,1)
10	7,78	3,13	10	25	40	21,6	6	27,6	<LC(0,1)
11	7,22	139	12	20	400	216	188	404	0,3
12	7,62	2,31	12	25	40	21,6	6	27,6	0,1
13	7,58	25,79	10	30	80	43,2	199	242,2	0,2
14	7,41	4,82	10	25	100	54	80	134	0,4
15	7,6	244	10	20	130	70,2	270	340,2	0,2
16	7,51	5,97	20	25	40	21,6	20	41,6	0,2
17	7,94	659	18	50	210	113,4	793	906,4	0,7
18	7,97	9,85	16	45	40	21,6	22	43,6	0,3
19	7,25	11,77	10	25	90	48,6	25	73,6	0,1
20	8,07	42,52	25	55	231	124,74	69	193,74	<LC(0,1)
21	9,04	110	20	55	393	212,22	212	424,22	<LC(0,1)
22	8,34	312	20	55	91	49,14	148	197,14	0,2
23	8,31	536	15	55	152	82,08	416	498,08	0,1
24	8,62	676	10	30	231	124,74	477	601,74	0,2
25	8,55	>1000	10	30	379	204,66	8935	9139,7	0,3
26	7,72	1,36	20	55	117	63,18	6	69,18	<LC(0.1)
27	10,38	>1000	20	55	209	112,86	3436	3548,9	0,3
28	8,03	30,51	20	40	105	56,7	28	84,7	<LC(0.1)
29	7,97	169	15	40	103	55,62	175	230,62	<LC(0.1)
30	7,67	1,63	20	30	195	105,3	6	111,3	<LC(0,1)
31	8,18	3,26	70	30	448	241,92	6	247,92	<LC(0,1)
32	8,26	10,61	20	30	317	171,18	119	290,18	0,1
33	7,58	23,16	15	15	114	61,56	6	67,56	<LC(0,1)

Tabla 84. Resultados de Hidrocarburos y fenoles del Departamento de Cauca

	Fenoles												
CAUCA PUNTO N°	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Dicloro	4-Cloro-3-Metil	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Pentacloro	2,4,6 . Tricloro	Fenoles Totales	HTP
	µg/L												mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
9	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
11	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
13	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
14	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
16	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
17	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
18	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
19	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
21	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
22	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
23	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
24	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
25	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
26	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
27	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
28	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
29	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
30	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
31	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
32	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17
33	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<55,0	<0,17

Tabla 85. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cauca

CAUCA PUNTO N°	As	Cd	Fe	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Hg	Ag
	mg/L									
1	0,00054	<L.D	0,466	0,0053	<L.D	0,02	<L.D	0,029	0,072	<0,05
2	0,02763	<L.D	3,476	0,0048	<L.D	0,02	<L.D	0,044	0,183	<0,05
3	0,00093	0,000284	0,050	<L.D	<L.D	0,02	<L.D	0,030	0,056	<0,05
4	<L.D	0,000363	30,223	0,0075	0,11	0,03	0,06	0,084	0,549	<0,05
5	0,03053	0,000162	0,191	<L.D	<L.D	0,01	<L.D	0,026	0,030	<0,05
6	0,04385	0,001246	3,346	<L.D	<L.D	0,01	3,06	0,033	3,933	<0,05
7	0,04712	0,001066	13,026	0,0012	0,06	0,16	17,19	<L.D	0,732	<0,05
8	0,00250	0,000147	0,092	<L.D	<L.D	<L.D	0,12	<L.D	2,104	<0,05
9	0,00004	<L.D	0,099	<L.D	<L.D	0,00	<L.D	<L.D	2,287	<0,05
10	0,00179	<L.D	0,202	0,0012	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,004	<0,05
11	0,02075	0,002463	0,224	0,0016	0,19	<L.D	0,10	<L.D	1,463	<0,05
12	0,00122	0,000152	0,409	0,0014	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,004	<0,05
13	0,04365	0,000143	2,415	0,0037	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	1,006	<0,05
14	0,08755	0,828	5,646	0,0081	<L.D	0,02	0,10	<L.D	0,170	<0,05
15	0,03273	0,000571	6,498	0,0030	0,06	0,05	<L.D	<L.D	0,028	<0,05
16	0,03607	0,000559	1,787	0,0063	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,050	<0,05
17	0,09978	0,000857	17,495	0,0049	0,05	<L.D	<L.D	0,018	0,549	<0,05
18	0,03091	0,000537	1,394	0,0064	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,007	<0,05
19	0,00432	<L.D	0,770	0,0009	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,028	<0,05
20	0,00012	0,013621	1,789	0,0677	<L.D	<L.D	0,13	0,055	0,006	<0,05
21	<LD	0,011832	0,615	0,1217	0,72	<L.D	6,63	0,059	0,039	0,32
22	0,00623	0,008356	4,537	0,638	0,07	<L.D	0,22	0,064	0,048	<0,05
23	0,00038	0,01056	2,406	0,1017	0,06	<L.D	0,14	0,017	0,109	<0,05
24	0,00450	0,009185	2,762	1,235	0,27	<L.D	0,20	<L.D	0,123	<0,05
25	0,02542	0,228	22,947	6,180	4,01	<L.D	4,92	0,251	3,933	0,08
26	0,01017	0,003341	0,022	0,0128	<L.D	<L.D	0,11	0,015	0,020	<0,05
27	0,01610	0,003358	18,513	0,809	0,13	<L.D	0,31	0,107	0,732	<0,05
28	0,00411	0,00182	1,151	0,0118	<L.D	<L.D	0,12	0,017	0,002	<0,05
29	0,00189	0,002266	2,404	0,0372	<L.D	<L.D	0,12	0,027	0,105	<0,05
30	0,00211	0,000643	0,005	0,0066	<L.D	<L.D	0,12	<L.D	0,005	<0,05
31	0,00405	0,0002	0,020	<L.D	<L.D	<L.D	0,12	0,016	0,000	<0,05
32	<LD	0,000342	1,504	<L.D	<L.D	<L.D	0,13	0,016	0,002	<0,05
33	0,0472	0,000835	1,733	0,0041	<L.D	<L.D	0,14	<L.D	0,013	<0,05

Tabla 86. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Cauca evaluadas

CAUCA PUNTO N°	DBO5	DQO	SST	G Y A	SAAM	P	PO4	NKT	NH3	NO2	NO3
						mg/L					
1	<2.14	20.74	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	2,1
2	22	14.82	1647	<LC (2)	<0,10	0,32	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	1,8
3	6,5	11.85	6	<LC (2)	<0,10	0,32	3,26	2,2	1	<0,010	1,6
4	16	154.09	9872	<LC (2)	<0,10	0,7	<0,10	51,2	22,23	<0,010	1,2
5	<2.14	53.34	6	<LC (2)	<0,10	<LDM(0.3)	3,59	9,3	5,04	<0,010	<0,50
6	<2.14	62.23	132	<LC (2)	<0,10	0,44	<0,10	16,3	8,84	0,03	<0,50
7	150	423.74	253	<LC (2)	<0,10	<0,30	0,11	62	23,96	0,019	0,5
8	6,25	65.19	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	15,2	7,73	<0,010	<0,50
9	<2.14	14.82	6	<LC (2)	<0,10	0,33	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	1,11
10	<2.14	<LC (9.3)	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	2,5
11	<2.14	26.67	188	<LC (2)	<0,10	0,4	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
12	<2.14	20.74	6	<LC (2)	<0,10	0,38	<0,10	2,24	< 1,0	<0,010	<0,50
13	3,8	23.71	199	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
14	9	17.78	80	<LC (2)	<0,10	0,43	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
15	27	20.74	270	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
16	5,3	11.85	20	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	2,8	< 1,0	<0,010	<0,50
17	<2.14	23.71	793	<LC (2)	<0,10	0,62	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
18	<2.14	17.78	22	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	1,1	< 1,0	<0,010	<0,50
19	17,5	17.78	25	<LC (2)	<0,10	0.3	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
20	<2.14	27,88	69	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
21	<2.14	49,56	212	<LC (2)	<0,10	2,1	<0,10	12,1	5,8	<0,010	<0,50
22	<2.14	12,39	148	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	0,15	1,8
23	<2.14	<LC(9,13)	416	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	0,21	<0,50
24	3,1	12,39	477	<LC (2)	<0,10	0,49	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	0,28	<0,50
25	<2.14	49,56	8935	<LC (2)	<0,10	5,32	<0,10	11,6	1,03	0,51	<0,50
26	<2.14	<LC(9.3)	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
27	<2.14	<LC(9.3)	3436	<LC (2)	<0,10	0,42	0,42	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
28	<2.14	<LC(9.3)	28	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
29	<2.14	18,59	175	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
30	<2.14	15,49	6	<LC (2)	<0,10	0,3	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
31	<2.14	<LC(9.3)	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	1,5	0,74
32	<2.14	27,88	119	<LC (2)	<0,10	0,41	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50
33	<2.14	15,49	6	<LC (2)	<0,10	<0,30	<0,10	<LDM(1)	< 1,0	<0,010	<0,50

2, 4, 7, 11, 17 Corresponden a descarga de minas. 14,15 Corresponden a Río Teta después de descarga de minas

Tabla 87. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cauca

CAUCA PUNTO N°	Cl-	SO4	S-	Dureza Total	Dureza Cálcica	COLOR	CN-
	mg/L	$mgSO_4^{2-}/L$	mg/L	$mgCaCO_3/L$	$mgCaCO_3/L$	UPC	mg/L
1	<LC (3.15)	6,2	0,8	<LC (5)	<LC (6.67)	15	11
2	<LC (3.15)	6,3	0,8	<LC (5)	<LC (6.67)	7,5	2
3	<LC (3.15)	16	<LDM(0,5)	46	45	7,5	7
4	9,8	112	1,60	46	22	30	3
5	19,99	19	<LDM(0,5)	122	115	7,5	2
6	<LC (3.15)	420	7,4	210	149	7,5	17
7	154,15	1400	1,6	1150	420	30	<2,5
8	<LC (3.15)	14	1,2	73	56	15	10
9	<LC (3.15)	17	2,4	<LC (5)	<LC (6.67)	7,5	6
10	<LC (3.15)	14	1,2	<LC (5)	<LC (6.67)	15	14
11	<LC (3.15)	39	<LDM(0,5)	75	60	30	12
12	<LC (3.15)	<LDM(5,19)	<LDM(0,5)	<LC (5)	<LC (6.67)	30	23
13	<LC (3.15)	10,45	0,8	<LC (5)	<LC (6.67)	30	20
14	<LC (3.15)	16	1,2	<LC (5)	<LC (6.67)	30	16
15	<LC (3.15)	23	4,8	<LC (5)	<LC (6.67)	45	17
16	<LC (3.15)	5,9	1,2	<LC (5)	<LC (6.67)	15	25
17	<LC (3.15)	16	<LDM(0,5)	39	37	30	16
18	<LC (3.15)	19	0,6	<LC (5)	<LC (6.67)	30	17
19	<LC (3.15)	17	2,4	<LC (5)	<LC (6.67)	45	21
20	<LC (3.15)	8	4,0	84	82	15	10
21	<LC (3.15)	36	11,6	350	42	15	11
22	<LC (3.15)	10	3,6	9,9	9	30	13
23	<LC (3.15)	6	2,8	54	52	15	9
24	<LC (3.15)	28	3,6	82	80	7,5	7
25	<LC (3.15)	25	3,2	40	32	15	12
26	<LC (3.15)	6	1,6	38	36	<LDM(7,5)	9
27	<LC (3.15)	41	6,0	56	50	45	8
28	<LC (3.15)	11	2,8	32	30	<LDM(7,5)	5
29	<LC (3.15)	9	1,6	40	36	15	8
30	<LC (3.15)	41	2,0	64	40	15	13
31	<LC (3.15)	68	1,6	168	76	<LDM(7,5)	7
32	<LC (3.15)	38	0,8	144	44	<LDM(7,5)	7
33	<LC (3.15)	19	3,2	40	36	15	82

e. Choco

Tabla 88. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Choco

CODIGO DE MINA	PUNTO	COORDENADAS		CHOCÓ PUNTO N°
		N	W	
27491002	P1 : Entrada Mina	04° 56´41.4´´	76° 38´07.7´´	1
27491002	P1 : Salida Mina	04° 56´41.6´´	76° 38´11.0´´	2
27491002	P3 : Antes Descarga	04° 56´44.3´´	76° 38´14.3´´	3
27491003	P1 : Entrada Mina	04° 56´09.1´´	76° 38´25.3´´	4
27491003	P3 : Descarga Mina	04° 56´07.7´´	76° 38´30.5´´	5
27205001	P1 : Entrada Mina	05° 05´09.0´´	76° 38´56.5´´	6
27600006	P1 : Entrada Mina	05° 28´27.9´´	76° 44´27.6´´	7
PAIMANÁ	Desembocadura Caño al Río Quito	05° 28´10..8´´	76° 44´25.4´´	8

Tabla 89. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Choco evaluadas

CHOCÓ PUNTO N°	pH	Turb NTU	SST mg/L	Acidéz mgCaCO₃/L	Alcalinidad mgCaCO₃/L	CE µS/cm	SD mg/L	ST mg/L	SSED mg/L
1	8,5	17,15	13	10	15	480	259,2	272,2	0,7
2	8,4	>1000	1454	10	15	650	351	1805	15
3	8,1	>1000	5260	20	10	450	243	5503	60
4	7,2	7,11	<LC(6)	5	30	560	302,4	305,4	<0,1
5	6,8	184	455	10	30	640	345,6	800,6	<0,1
6	6,4	10,39	10	15	15	193	104,22	114,22	0,2
7	8,3	7,36	904	15	10	170	91,8	995,8	2,4
8	8,3	>1000	504	10	0	140	75,6	579,6	2

Tabla 90. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Choco

CHOCÓ PUNTO N°	As mg/L	Cd mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	Ni mg/L	Cu mg/L	Cr mg/L	Hg mg/L	Ag mg/L
1	<LD	0,000	0,64	0,001	<L.D	0,064	<L.D	0,009	<L.D	<0,05
2	0,001	0,001	11,27	0,006	0,059	0,099	<L.D	0,061	<L.D	<0,05
3	0,001	0,001	8,23	0,013	0,128	0,262	0,222	1,338	1,829	<0,05
4	<LD	0,001	0,05	<L.D	0,074	0,107	<L.D	0,007	0,002	<0,05
5	0,002	0,006	4,45	0,014	0,072	0,046	<L.D	0,054	0,001	<0,05
6	<LD	0,000	0,24	<L.D	<L.D	0,066	<L.D	0,005	<L.D	<0,05
7	<LD	0,001	8,19	0,009	<L.D	0,049	<L.D	0,049	<L.D	<0,05
8	<LD	0,001	7,81	0,008	<L.D	0,016	<L.D	0,042	<L.D	<0,05

Tabla 91. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Choco evaluadas

CHOCÓ PUNTO N°	DBO5 mg/L	DQO mg/L	G Y A mg/L	SAAM mg/L	P mg/L	PO4 mg/L	NKT mg/L	NH3 mg/L	NO2 mg/L	NO3 mg/L
1	< 2,14	<LC(9.3)	<LC(2)	< 0,10	<LC(0.3)	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
2	< 2,14	34,27	<LC(2)	< 0,10	0,93	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
3	< 2,14	31,01	5,2	< 0,10	0,87	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
4	< 2,14	<LC(9.3)	<LC(2)	< 0,10	<LC(0.3)	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
5	< 2,14	11,42	<LC(2)	< 0,10	1,21	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
6	< 2,14	<LC(9.3)	<LC(2)	< 0,10	<LC(0.3)	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
7	36	71,81	<LC(2)	< 0,10	0,53	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50
8	44	76,7	2,8	< 0,10	<LC(0.3)	< 0,10	<LC(1.0)	<LC(1.0)	< 0,01	< 0,50

5.1. MINERÍA DE CARBÓN

5.2.1 Caudales y características del cuerpo de agua receptor y de los vertimientos generados.

Los vertimientos generados en el departamento de Cundinamarca y Boyacá por la 11 UPM, se caracterizan por ser aquellas aguas evacuadas desde el interior de los socavones. Estas aguas se convierten en un problema en el momento de continuar con las labores extractivas del carbón metalúrgico o térmico. Es decir, la explotación de carbón mediante técnicas subterráneas, presentará problemas de encharcamiento en el fondo del socavón y no permitirá continuar con las actividades de explotación, ya que el rumbo del manto es el que decide los movimientos de estéril (material rocoso).

De acuerdo a las condiciones climatológicas de la zona, nivel freático, acuíferos y características físicas del suelo como la percolación, permitirán en mayor o menor medida la entrada de aguas y por consiguiente la necesidad de evacuarlas. Estas aguas son evacuadas mediante el uso de electrobombas, convirtiéndose una vez en superficie, en un recurso no usado por parte de los mineros y la necesidad de verterlas a fuentes superficiales de agua, el suelo o lagunas de sedimentación

a. Distrito minero de Zipa - Samaca

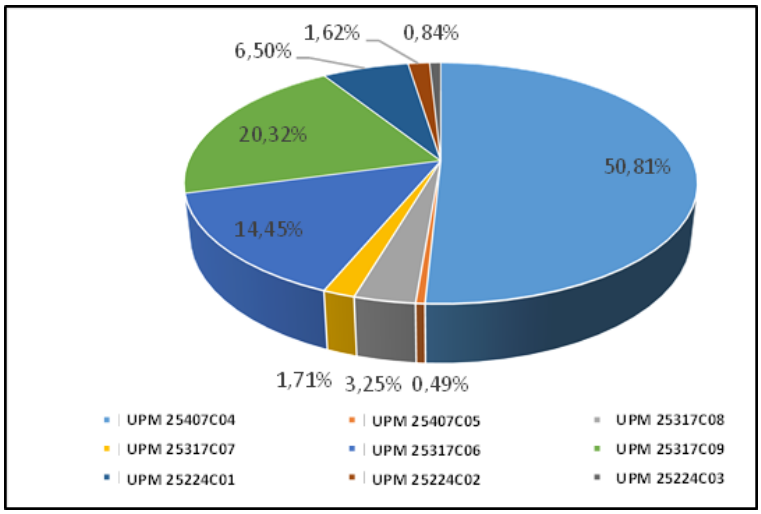
Tabla 92. Vertimientos generados por las UPM en el departamento de Cundinamarca y cuerpos receptores.

	LENGUAZAQUE				GUACHETA			CUCUNUBA			
	UPM 25407C04		UPM 25407C05		UPM 25317C08	UPM 25317C07	UPM 25317C06	UPM 25317C06	UPM 25224C01	UPM 25224C02	UPM 25224C03
Origen vertimiento	Socavón	Socavón	Socavón 1	Socavón 2	Socavón	Socavón	Socavón	Socavón	Socavón	Socavón	Socavón
Cuerpo receptor	Quebrada Cajón		Quebrada Ato viejo		Suelo	Suelo	Quebrada la toma	Reutilización en Coquización	Laguna de sedimentación	Laguna de sedimentación	Suelo
Volumen vertido (m3/mes)	607,5	7492,5	45,36	32,76	518,4	272,25	2304	3240	1036,8	257,76	134,64
Caudal Vertimiento (m3/s)	0,009	0,111	0,0126	0,0126	0,0016	0,00242	0,0064	0,015	0,0032	0,00065	0,0047
Caudal aguas arriba (m3/mes)	0	0	0	0	-	-	247,968	-	-	-	-
Caudal aguas abajo (m3/mes)	-	-	-	-	-	-	24,192	-	-	-	.
Volumen total vertido	8100		78,12		518,4	272,25	2304	3240	1036,8	257,76	134,64

En el departamento de Cundinamarca se vierte mensualmente 15941,97 m^3 de agua de socavón (aguas de minas) producto de las labores extractivas de 9 UPM, donde el

principal aportante de aguas de mina al medio, es la UPM 25407C04, debido a que con un caudal promedio de 0,120 m^3/s y volumen mensual de 8100 m^3, representa más del 50% de las aguas de mina generadas en el departamento de Cundinamarca, tal como se ilustra en la Gráfico 47

Gráfico 47. Volumen mensual de aguas de mina generadas por cada UPM en el departamento de Cundinamarca.

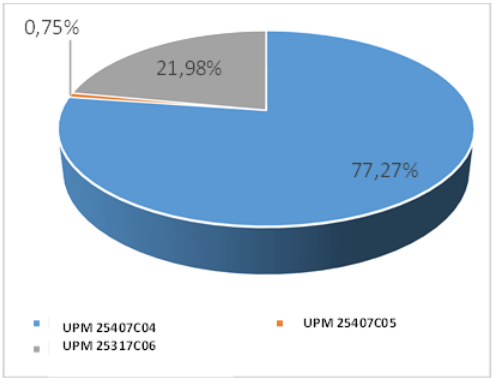


La mina 25317C06, es la UPM en segunda representación al generar volúmenes altos de aguas de mina, con el 20,32% del total generado, este volumen de agua captado desde el fondo del socavón (3240 m^3) es reutilizado en su totalidad en el enfriamiento de las calderas de coquización de la Planta Coquizadora San Carlos, ubicada a 2 kilómetros de la UPM 25317C06. Las UPM 25407C04, 25317C06 y 25317C06 extraen desde el fondo de los socavones más del 85% de las aguas de mina a nivel departamental.

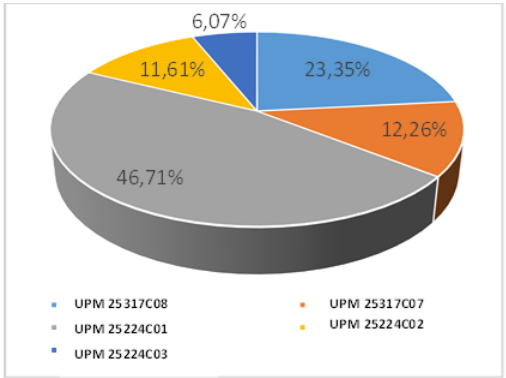
Gráfico 48. Cuerpos receptores de los vertimientos de las UPM del departamento de Cundinamarca.

Las aguas de mina extraídas del fondo de los socavones son vertidas en su mayoría a quebradas, representando el 65,75% del volumen total de agua de mina, equivalente a 10482,12 m^3 sobre estos cuerpos de agua, las minas que vierten sobre quebradas son las UPM 25407C04, 25407C05 y 25407C05.

Gráfico 49. Volumen de agua de UPM vertidos en el departamento de Cundinamarca.



Vertidos a quebradas



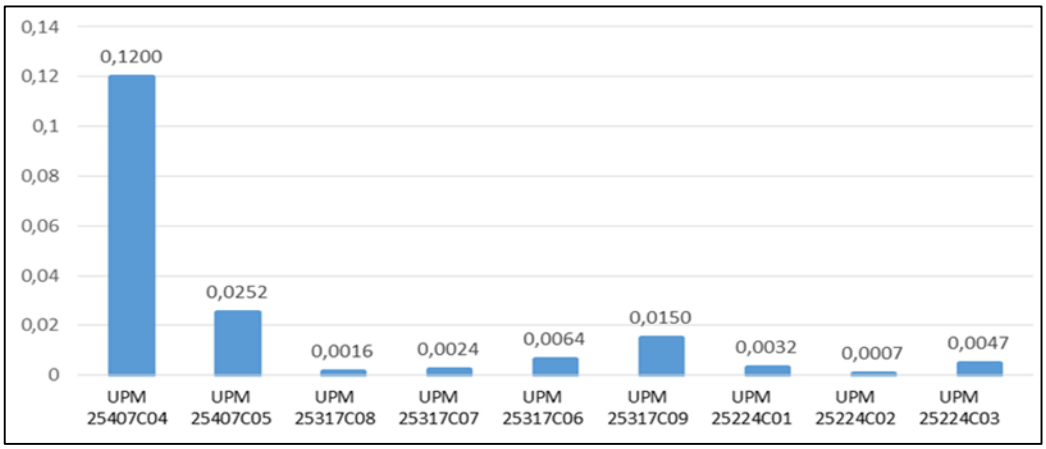
Vertidos al suelo

De acuerdo al Gráfico 49, se puede inferir que la UPM 25407C04, es la de mayor vertimiento sobre quebradas con un volumen mensual vertido de 8100 m^3, equivalente al 77,27% del total de agua que se vierte sobre quebradas. Teniendo en cuenta que solo tres UPM vierten sobre quebradas y representan en conjunto el mayor volumen de agua vertido, en comparación con las cinco UPM que vierten el suelo. Es posible deducir, que

este receptor de los vertimientos es posiblemente el mayor afectado por la cantidad de volumen que se deposita sobre las quebradas.

En el Gráfico 49, se puede apreciar el porcentaje de agua que la UPM 25407C04 vierte sobre la quebrada Cajón, es la única mina visitada que vierte sobre este cuerpo hídrico, el cual al momento de la visita estaba totalmente seca, es decir el caudal era inexistente. Aguas abajo del vertimiento, en inmediaciones del predio de la mina el único aporte a este cuerpo es realizado diariamente por el agua de mina vertida por la UPM 25407C04 sobre este cuerpo. La UPM 25317C06, vierte sus aguas sobre la quebrada La Toma, con caudal promedio aguas arriba de 6199,2 m^3 mensuales, aguas abajo ésta quebrada registró valores de caudal inferiores a los de aguas arriba, 604,8 m^3 mensuales posiblemente por captaciones de otras UPM, requerimientos de agua del bosque de galería o bifurcaciones en el caudal o ramificaciones de la quebrada. La UPM 25407C05, vierte sus aguas sobre la quebrada Ato Viejo, por razones de sequía de este cuerpo hídrico no se pudo obtener datos de medición de caudal. En general, estas quebradas son pequeños cuerpos de aguas serpenteantes que pertenecen a una red de drenaje superior, se caracterizan por que su caudal es intermitente de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona. Los caudales de las UPM se detallan en la Gráfico 50 (comportamiento de caudales), estos dependen básicamente de la cantidad de agua en el interior del socavón y en la capacidad de la electrobomba utilizada, en la UPM 25407C04, debido a los altos volúmenes acumulados es necesario evacuar rápidamente estas aguas, es por ello que el caudal promedio de desagüe es de aproximadamente 0,120 m^3/s y en la UPM 25224C02 con caudal promedio de 0,00065 m^3/s refleja un comportamiento contrario, debido a la poca acumulación de aguas en el interior del socavón.

Gráfico 50. Comportamiento de los caudales de vertimiento de las UPM en m^3/s en el departamento de Cundinamarca.



En el Gráfico 50, se detalla los volúmenes de agua mensuales vertidos directamente sobre el suelo. La UPM 25224C01 vierte 1036,80 m^3 de agua de mina sobre el suelo, equivalente al 46,71% del total de agua de mina vertida al suelo, así mismo la UPM 25317C08 con representación del 23.35% y volumen mensual de 518,40 m^3 de aguas de mina es la segundo UPM en generar mayor cantidad de vertimiento sobre el suelo. El 30% de las aguas de mina que son vertidas al suelo son generadas por las UPM 25317C07, 25224C03 y 25224C02.

Las aguas de mina que no son utilizadas en humectación en la UPM 25317C06, son bombeadas hasta una planta de coquización, para el enfriamiento de las calderas coquizadoras ubicadas a 2 kilómetros de distancia. Por tal razón la mina 25317C06 es la única UPM que no genera vertimientos directos de agua de mina sobre cuerpos de agua o el suelo. La UPM 25317C06 es la única que no genera afectación directa por aguas de mina sobre algún cuerpo receptor de estas aguas.

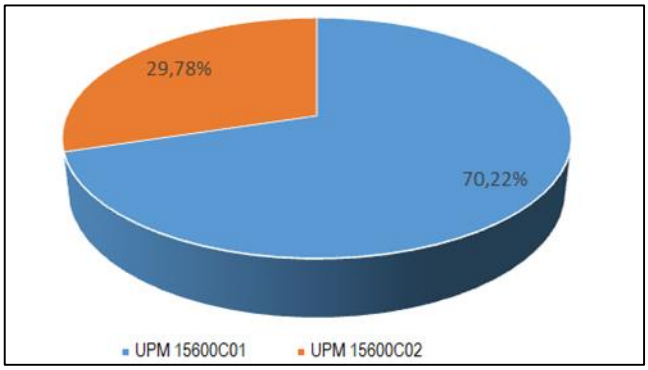
b. Boyacá

Tabla 93. Vertimientos generados por las UPM en el departamento de Boyacá y cuerpos receptores.

MUNICIPIO	RÁQUIRA UPM 15600C01	SAMACÁ UPM 15646C02		
Origen vertimiento	Socavón	Socavón 1	Socavón 2	Socavón 3
Cuerpo receptor	Quebrada La Fiera	Quebrada Los ajos	Quebrada Los ajos	Quebrada Los ajos
Volumen vertido (m3/mes)	1215	171,72	171,72	171,72
Caudal Vertimiento (m3/s)	0,00675	0,00319	0,00319	0,00319
Caudal aguas arriba (m3/mes)	706536		76896	
Caudal aguas abajo (m3/mes)	872208		82944	
Volumen total vertido	1215		515,16	

En el departamento de Boyacá las dos UPM vierten mensualmente, producto de las labores extractivas del agua de mina, 1730,16 m^3 de agua de mina, tal como se muestra en la Gráfico 51 la UPM 15646C02 vierte el 29,78% equivalente a 515,16 m^3 y el 70,22% restante es aportado por la UPM 15600C01. Este tipo de minería en departamento de Boyacá es similar al de Cundinamarca, debido a que el agua de mina se convierte en un problema una vez se encuentra en superficie y surge la necesidad de evacuarlas.

Gráfico 51. Volumen mensual de aguas de mina generado por cada UPM en el departamento de Boyacá.

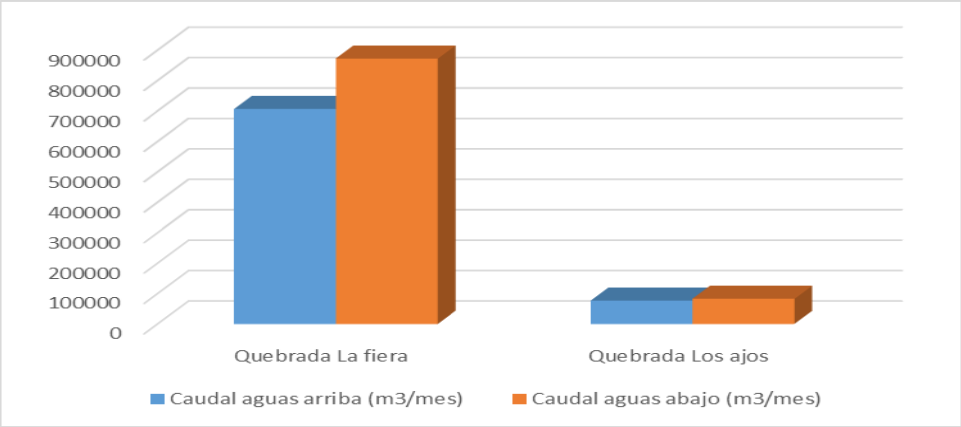


Las minas visitadas en este departamento vierten sus aguas de minas sobre fuentes superficiales, las cuales actúan como receptores finales de este tipo de aguas. La UPM 15600C01 vierte sus aguas sobre la quebrada La fiera en el municipio de Ráquira, se caracteriza por recibir las aguas de las minas ubicadas en el tramo de entrada al departamento de Boyacá por la troncal del Carbón. Estas minas pertenecientes al municipio de Ráquira vierten sus aguas a este cuerpo hídrico y afectando posiblemente su características de calidad.

La UPM 15646C02 vierte sus aguas sobre la quebrada Los ajos, en el municipio de Samacá, mensualmente aporta mediante 3 vertimientos de diferentes socavones, estos vertimientos se realizan sin tratamiento alguno, las tuberías de descarga están dispuestas sobre la vía de acceso a la mina. Los tres vertimientos escurren por la vía hasta llegar a la zona de pendiente más baja, hasta alcanzar las aguas de la quebrada Los ajos.

Los caudales de los cuerpos de agua (quebrada La fiera y Los ajos), aguas abajo presentan un aumento en las mediciones de caudal, debido al aporte realizado por las unidades de producción minera a su cauce, tal como se indica en la Gráfico 52.

Gráfico 52. Comportamiento de los caudales en las quebradas del departamento de Boyacá.



c. Distrito minero de Amagá

En la siguiente tabla se recopilan algunas características de los vertimientos generados por las UPM estudiadas, así como características de los cuerpos receptores de los mismos.

Tabla 94. Vertimientos generados por la actividad minera carbonífera del departamento de Antioquia.

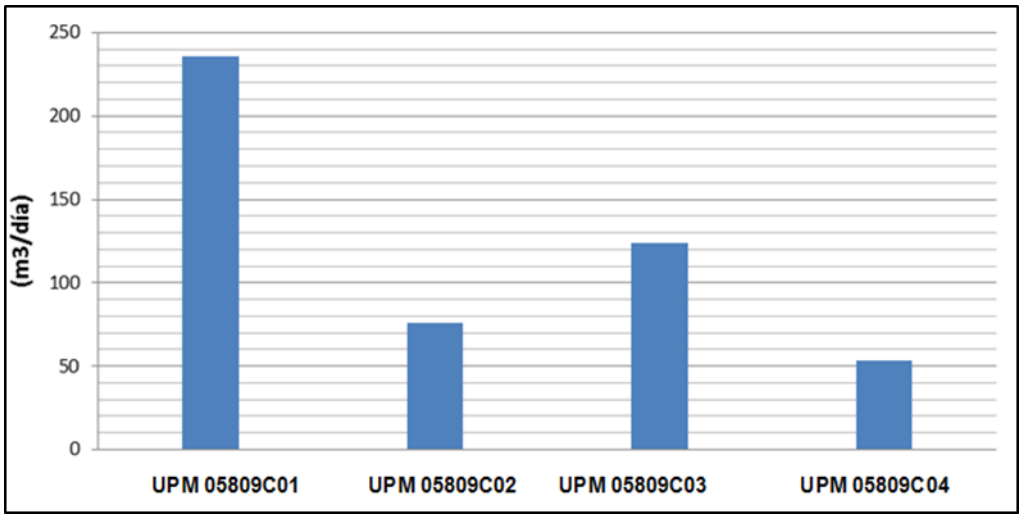
UPM	05809C01	05809C02	05809C03	05809C04
Origen del vertimiento	Socavón	Socavón	Socavón	PIT y Botadero
Cuerpo receptor	Quebrada La Sucia	Quebrada La Sucia	Quebrada La Mica	Quebrada La Sarzala
Caudal vertido (m^3/s)	0,0002286	0,004395	0,00143	0,00062
Volumen vertido (m3/día)	235,6128	75,9456	123,552	53,568
Toneladas procesadas/día	1500-2000	1200	2500	4500
Caudal aguas arriba (m^3/s)	0,051	0,051	*	*
Caudal aguas abajo (m^3/s)**				

* Al momento de la visita no se pudieron medir caudales aguas arriba por dificultad de acceso por condiciones del terreno

Las UPM caracterizadas vierten aproximadamente 488,6784 m^3 de agua diarios provenientes del desagüe de los socavones de trabajo en el caso de la UPM 05809C01 que vierte hacia la quebrada La Sucia al igual que la UPM 05809C02 y 05809C03 que vierte a la quebrada La Mica; en todas estas se extrae el agua y se le realiza disminución de sólidos en suspensión por sedimentación. Por su parte en la UPM 05809C04 se genera un vertimiento proveniente del agua de infiltración del PIT que se conduce por canales naturales a un lado de las vías hasta el botadero (sitio de disposición de estériles) de donde escurre hacia un tanque sedimentador y posteriormente se vierte a la quebrada La Sarzala.

En el Gráfico 53 se ilustra el comportamiento de los vertimientos en las UPM estudiadas; aquí se puede notar que el principal aportante es la UPM05809C01, seguida de la UPM 05809C03, UPM 05809C02 y finalmente la UPM 05809C04.

Gráfico 53. Comportamiento de los volúmenes de vertimiento en las UPM caracterizadas departamento de Antioquia.



La UPM 05809C01 vierte 235,6128 m^3 por día, que representan el 48,21% del total vertido a las quebradas de la zona; 05809C03 vierte 123,552 m^3/día que representan el 25,28%, La UPM 05809C02 vierte 75,9456 m^3/día, representando el 15,54% y finalmente 05809C04 vierte 53,568 m^3 que representa el 10,96% del vertimiento total**.**

De las UPM visitadas, dos vierten sus aguas de mina hacia la quebrada La Sucia; en total dicha quebrada recibe diario un volumen de 311.5688 m^3 por día, de los cuales el 75,62% es aportado por la UPM 05809C01 y el 24,38 restante por la UPM 05809C02.

d. Distrito minero La Jagua

Los vertimientos generados en las UPM del departamento del Cesar, son originados desde diferentes puntos y procesos, discriminando para cada UPM los vertimientos generados sobre los cuerpos de agua de la zona de los proyectos mineros.

De acuerdo a la información verbal suministrada, las aguas de lluvia son almacenadas en sumideros para su posterior utilización. Sin embargo, el agua captada en su totalidad no es usada por las UPM lo que genera la necesidad de verterlas a cuerpos de agua, las UPM 20178C01 y 20178C02 vierten aproximadamente 22 Mm^3 anuales. Adicionalmente a las aguas de lluvias no utilizadas, los sumideros se alimentan de las aguas previamente tratadas provenientes de la planta de lavado en la UPM 20178C01.

La UPM 20178C01 vierte desde las piscinas número 1A, 4, 5, 6 y 7. Las piscinas 6 y 7 vierten sus aguas sobre el caño San Antonio, la piscina 5 sobre el canal Paujil, la piscina 4 vierte sus aguas sobre la quebrada Garrapata y la piscina 1A sobre el caño Paraluz.

La UPM 20178C02 vierte desde las piscinas D5, D4, D3 y D2. Las piscinas D3, D4 y D5 vierten sobre el caño El Zorro y la piscina D2 sobre el caño el mocho.

En total el vertimiento de la UPM 20178C01 y 20178C02 es de 22 Mm^3 anuales.

5.2.2 Caracterización de la calidad del vertimiento y cuerpo de agua receptor antes y después del proyecto minero carbonífero

a. Cundinamarca

Las minas evaluadas se presentan en la tabla siguiente; para el sector carbonífero el parámetro que se pone de manifiesto con niveles por encima de los niveles permisibles por la nueva normatividad de vertimientos, está asociado a Sulfuros en todos los puntos evaluados para el recurso hídrico y sólidos suspendidos en algunos casos de vertimientos puntuales.

Tabla 95. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Cundinamarca

CODIGO DE MINA	PUNTO	COORDENADAS		CUNDINAMARCA PUNTO N°
		N	W	
25317C09	P1: Entrada Mina	05° 20´58.03´´	73° 42´14.87´´	1
25317C09	P2: Salida Mina	05° 20´57.08´´	73° 42´19.87´´	2
25317C08	P1: Entrada Mina	05° 22´53.85´´	73° 40´41.26´´	3
25317C10	P1: Entrada Mina	05° 22´53.85´´	73° 40´41.26´´	4
25317C10	P2: Salida Mina	05° 22´53.99´´	73° 40´42.29´´	5
QUEBRADA AGRASAL AGUAS ARRIBA	P3: Antes Descarga	05° 24´20.76´´	73°39´1.52´´	6
QUEBRADA AGRASAL AGUAS ABAJO	P4: Después Descarga	05° 24´33.96´´	73° 39´2.84´´	7
25317C07	P1: Entrada Mina	05° 24´20.8´´	73° 39´10.13´´	8
25317C07	P2: Salida Mina	05° 24´25.67´´	73° 39´10.31´´	9
25224C02	P1: Entrada Mina	05° 16´24.7´´	73° 46´26.5´´	10
25224C02 -	P2: Salida Mina	05° 16´23.4´´	73° 46´27.6´´	11
25224C03 - ENTRADA MINA	P1: Entrada Mina	05° 13´31.3´´	73´46´41.5´´	12
25224C03 - SALIDA MINA	P2: Salida Mina	05° 13´35.3´´	73´46´42.8´´	13
25224C01 - ENTRADA MINA	P1: Entrada Mina	05° 13´51.1´´	73° 46´38.5´´	14
25317C06 - SALIDA BOCAMINA	P1: Entrada Mina	05° 24´29.2´´	73° 39´16.2´´	15
25317C06 -	P2: Salida Mina	05° 24´29.7´´	73° 39´15.5´´	16
25317C06 - QUEBRADA LA TOMA)	P3: Antes Descarga	05° 24´28.7´´	73° 39´15.2´´	17
25317C06 - QUEBRADA LA TOMA	P4: Después Descarga	05° 24´32.6´´	73° 39´14.3´´	18
25407C04 - ENTRADA POZAS SED. AGUA	P1: Entrada Mina	05° 19´35´´	73° 43´10.5´´	19
25407C04 - DESCARGA	P2: Salida Mina	05° 19´35´´	73° 43´10.6´´	20
25407C05 - ENTRADA	P1: Entrada Mina	05° 18´43.1´´	73° 44´10.0´´	21
25407C05 - SALIDA	P2: Salida Mina	05° 18´45.1´´	73° 44´10.9´´	22
LAGUNA FUQUENE				23

Tabla 96. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Cundinamarca evaluadas

CUNDINAMARCA PUNTO N°	pH	Turb NTU	SST mg/L	Acidéz mgCaCO₃/L	Alcalinidad mgCaCO₃/L	CE µS/cm	SD mg/L	ST mg/L	SSED mg/L
1	8,5	304	398	25	115	356	192,2	590,24	0,8
2	8,3	27,25	<LC(6)	25	105	358	193,3	196,32	0,2
3	8,4	6,92	6	25	225	539	291,1	297,06	0,1
4	8,6	94	61	50	280	655	353,7	414,7	0,4
5	8,7	88	38	35	255	629	339,7	377,66	0,3
6	9,1	9,15	16	15	20	52	28,08	44,08	0,3
7	8,5	43,93	6	15	30	277	149,6	155,58	0,4
8	7,9	669	957	25	105	1045	564,3	1521,3	0,9
9	8,2	56	17	20	75	929	501,7	518,66	0,2
10	8,2	15,9	<LC(6)	30	140	308	166,3	169,32	0,1
11	8,2	20,15	6	45	255	453	244,6	250,62	0,2
12	8,3	33,09	17	45	255	1045	564,3	581,3	0,2
13	8,9	41	57	25	275	973	525,4	582,42	0,3
14	8,4	33,62	10	20	140	525	283,5	293,5	0,3
15	7,3	10,59	<LC(6)	40	145	1720	928,8	931,8	<0,1
16	7,6	2,29	<LC(6)	40	140	1775	958,5	961,5	<0,1
17	7,9	11,92	33	20	75	524	283	315,96	0,1
18	7,8	15,25	<LC(6)			646	348,8	351,84	0,1
19	7,5	311	267	85	420	775	418,5	685,5	1,1
20	7,8	66	27	40	330	692	373,7	400,68	0,3
21	8,2	6,45	<LC(6)	20	80	574	310	312,96	0,1
22	8	7,37	<LC(6)	20	75	547	295,4	298,38	0,2
23	8	9,76	41	20	55	486	262,4	303,44	0,1

Tabla 97. Resultados de fenoles del Departamento de Cundinamarca

	FENOLES												
CUNDINAMARCA PUNTO N°	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Dicloro	4-Cloro-3-Metil	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Pentacloro	2,4,6-Triclloro	Fenoles-T	HTP
	µg/L												mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
9	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
11	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
12	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
13	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
14	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
16	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
17	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
18	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
19	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
21	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
22	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
23	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17

Tabla 98. Resultados de hidrocarburos del departamento de Cundinamarca

CUNDINAMARCA PUNTO N°	Naftaleno µg/L	Acenaftileno µg/L	Acenafteno µg/L	Fluoreno µg/L	Fenantreno µg/L	Antraceno µg/L	Fluoranteno µg/L	Pireno µg/L	Benz[a]antraceno µg/L	Criseno µg/L	Benzo[b]fluoranteno µg/L	Benzo[k]fluoranteno µg/L	Benzo[a]pireno µg/L	Indeno[1,2,3-cd]pireno µg/L	Dibenz[a,h]antraceno µg/L	Benzo[ghi]perileno µg/L	HAPs-T µg/L
1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,98	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,98
9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
14	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
16	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
17	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
19	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
21	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
22	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
23	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6

Tabla 98. Continuación

	BTX			
CUNDINAMARCA PUNTO N°	Benceno µg/L	Tolueno µg/L	Etilbenceno µg/L	Xileno µg/L
1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
9	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
10	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
11	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
12	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
13	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
14	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
15	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
16	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
17	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
18	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
19	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
20	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
21	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
23	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Tabla 99. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cundinamarca

CUNDINAMARCA PUNTO N°	As	Cd	Fe	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Hg	Ag
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	<LD	0,00036	6,78	0,0034	0,05	<L.D	0,13	0,0150	0,0012	<0,05
2	<LD	0,00079	0,32	0,0006	<L.D	<L.D	0,11	0,0120	<L.D	<0,05
3	<LD	0,00055	0,03	0,0008	<L.D	<L.D	<L.D	0,0130	0,0012	<0,05
4	<LD	0,00021	0,29	0,00005	0,05	<L.D	<L.D	0,0100	0,0012	<0,05
5	<LD	0,00031	0,19	0,00004	<L.D	<L.D	<L.D	0,0090	<L.D	<0,05
6	<LD	0,00029	1,13	0,00202	0,15	<L.D	<L.D	0,0100	<L.D	<0,05
7	<LD	0,00031	1,03	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0030	0,0024	<0,05
8	<LD	0,00292	7,58	0,0016	0,05	0,02	<L.D	0,0160	0,0012	<0,05
9	<LD	0,00176	0,81	0,0000	0,13	0,02	<L.D	0,0040	<L.D	<0,05
10	<LD	0,00034	1,12	0,0006	<L.D	<L.D	<L.D	0,0050	<L.D	<0,05
11	<LD	0,00011	1,26	0,0000	<L.D	<L.D	<L.D	0,0050	0,0012	<0,05
12	<LD	0,00028	0,41	<L.D	0,21	<L.D	<L.D	0,0080	<L.D	<0,05
13	<LD	0,00040	0,81	<L.D	0,13	<L.D	<L.D	0,0040	<L.D	<0,05
14	<LD	0,00039	2,39	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0030	<L.D	<0,05
15	<LD	0,00076	0,04	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0050	<L.D	<0,05
16	<LD	0,00037	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
17	<LD	0,00028	0,33	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
18	<LD	0,00018	0,16	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
19	<LD	0,00109	12,48	0,00177	0,09	<L.D	<L.D	<L.D	0,0012	<0,05
20	0,0019	0,00024	0,73	0,00014	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
21	<LD	0,00022	0,35	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
22	<LD	0,00027	0,42	0,00001	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
23	<LD	0,00010	2,54	0,00033	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,051	<0,05

Tabla 100. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Cundinamarca evaluadas

CUNDINAMARCA PUNTO N°	DBO5 mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	G Y A mg/L	SAAM mg/L	P mg/L	PO4 mg/L	NKT mg/L	NH3 mg/L	NO2 mg/L	NO3 mg/L
1	<LC(2,14)	272,98	398	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
2	<LC(2,14)	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
3	<LC(2,14)	<LC(9,3)	6	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	1,5	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
4	10,2	94,3	61	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	61	<LDM(0,1)	1,3	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
5	<LC(2,14)	41,36	38	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	0,2	2,3	1,12	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
6	<LC(2,14)	33,09	16	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
7	<LC(2,14)	14,89	6	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	0,13	<LC(1)	<LC(1)	0,23	<LDM(0,5)
8	33	488,05	957	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	0,31	0,3	1,2	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
9	4	16,54	17	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	0,13	5,6	2,3	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
10	<LC(2,14)	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	2,2	1	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
11	<LC(2,14)	<LC(9,3)	6	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
12	<LC(2,14)	11,58	17	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	0,36	<LDM(0,5)
13	<LC(2,14)	26,47	57	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	0,13	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
14	6,1	13,24	10	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	1	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
15	8,2	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
16	<LC(2,14)	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	6,2	1,9	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
17	19	61,21	33	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	5,3	2,01	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
18	<LC(2,14)	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	0,11	3,6	1,51	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
19	<LC(2,14)	363,97	267	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	0,48	<LDM(0,1)	23,4	10,92	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
20	<LC(2,14)	19,85	27	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
21	<LC(2,14)	<LC(9,3)	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
22	<LC(2,14)	11,58	<LC(6)	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
23	<LC(2,14)	<LC(9,3)	41	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0.3)	2	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,005)	0,08

Tabla 101. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Cundinamarca

CUNDINAMARCA PUNTO N°	Cl- mg/L	SO4 mg/L	S- mg/L	Dureza Total $mgCaCO_3/L$	Dureza Cálcica $mgCaCO_3/L$	COLOR UPC	CN- mg/L
1	<LC(3,15)	47	4,4	104	60	<LDM(7,5)	3,6
2	<LC(3,15)	43	1,6	108	62	<LDM(7,5)	4,3
3	<LC(3,15)	37	2,4	68	32	15	5
4	<LC(3,15)	49	2,8	122	56	<LDM(7,5)	5,2
5	3,2	45	3,2	164	56	7,5	5,55
6	<LC(3,15)	6	2	16	<LC(6.67)	30	<2,5
7	<LC(3,15)	66	2,8	80	38	45	<2,5
8	<LC(3,15)	300	2,4	550	124	30	<2,5
9	<LC(3,15)	500	2,4	490	176	15	<2,5
10	<LC(3,15)	11	2	102	46	30	4,5
11	<LC(3,15)	7	3,2	100	42	15	6,1
12	6,2	176	3,6	164	46	45	<2,5
13	4,99	3,6	22	130	48	30	<2,5
14	14,99	31	2,8	166	64	15	<2,5
15	7,69	1300	2	816	190	15	<2,5
16	7,2	600	3,6	826	190	15	<2,5
17	<LC(3,15)	127	2	224	90	15	<2,5
18	<LC(3,15)	227	3,2	304	80	15	2,7
19	9,99	126	3,2	194	56	15	<2,5
20	8,44	14	1,6	140	24	15	<2,5
21	<LC(3,15)	34	2,4	226	78	7,5	<2,5
22	<LC(3,15)	149	2	236	72	15	<2,5
23	16,69	220	2,3	56	34	25	<2,5

b. Boyacá

Las minas evaluadas se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 102. Sitios utilizados para realizar muestreo y caracterización de aguas en Departamento de Boyacá

CODIGO DE MINA	PUNTO	COORDENADAS		BOYACÁ PUNTO N°
		N	W	
15600C01	P1: Entrada Mina	05° 26´51.0´´	73° 37´1.6´´	1
15600C01	P2: Salida Mina	05° 26´45.7´´	73°37´07.7´´	2
15600C01	P3: Antes Descarga	05° 26´45.1´´	73° 37´07.4´´	3
15600C01	P4: Después Descarga	05° 26´46.7´´	73° 37´08.4´´	4
15646C02 - DESCARGA	P1: Entrada Mina	05° 27´25.8	73° 35´28.3´´	5
15646C02 - LOS AJOS ARRIBA	P3: Antes Descarga	05° 27´25.6	73° 35´29.6´´	6
15646C02 - LOS AJOS ABAJO	P4: Después Descarga	05° 27´27.9	73° 35´25.6´´	7

Tabla 103. Parámetros básicos de calidad de agua para los cuerpos receptores de los vertimientos de minas de Boyacá evaluadas

BOYACÁ PUNTO N°	pH	Turb	SST	Acidéz	Alcalinidad	CE	SD	ST	SSED
		NTU	mg/L	mgCaCO₃/L		µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
1	7,66	652	213	85	80	432	233,28	446,28	0,9
2	7,38	29,37	15	30	95	405	218,7	233,7	0,1
3	7,43	159	71	5	5	570	307,8	378,8	0,2
4	7,53	91	191	5	10	154	83,16	274,16	0,2
5	7,53	347	510	20	85	518	279,72	789,72	0,8
6	8,04	17,24	8	20	20	507	273,78	281,78	0,1
7	7,68	36,87	12	15	25	432	233,28	245,28	0,1

Tabla 104. Resultados de fenoles del Departamento de Boyacá

	FENOLES												
BOYACÁ PUNTO N°	fenol	2-Cloro	2,4-Dimetil	2-Nitro	2,4-Dicloro	4-Cloro-3-Metil	4-Nitro	2-Metil 4,6-Dinitro	Dinitro	Penta cloro	2,4,6 . Tricloro	Fenoles-T	HTP
	µg/L												mg/L
1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
6	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17
7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<10	<10	<10	<10	<10	<6,0	<66,0	<0,17

Tabla 105. Resultados de hidrocarburos del departamento de Boyacá

	HAPS																
BOYACÁ PUNTO N°	Naftaleno µg/L	Acenaftileno µg/L	Acenafteno µg/L	Fluoreno µg/L	Fenantreno µg/L	Antraceno µg/L	anteno µg/L	Pireno µg/L	Benz[a]antraceno µg/L	Crisen o µg/L	fluoranteno µg/L	fluoranteno µg/L	a]pireno µg/L	2,3-cd]pireno µg/L	Dibenz[a,h]antraceno µg/L	Benzo[ghi]perileno µg/L	HAPs-T µg/L
1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6
7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<1,6

	BTX			
CÁ N°	Benceno µg/L	Tolueno µg/L	Etilbenceno µg/L	Xileno µg/L
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Tabla 106. Resultados de Metales pesados y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Boyacá

BOYACÁ PUNTO N°	As	Cd	Fe	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr	Hg	Ag
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ug/L	ug/L	mg/L
1	<LD	0,00018	4,80	0,0111	<L.D	<L.D	<L.D	0	0,0024	<0,05
2	<LD	0,00023	1,24	0,0006	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0037	<0,05
3	<LD	0,00014	1,45	0,0001	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<0,05
4	<LD	0,00014	1,20	0,0035	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0024	<0,05
5	<LD	0,00076	3,67	0,0010	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0232	<0,05
6	<LD	0,00099	0,62	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0049	<0,05
7	<LD	0,00119	1,56	0,0001	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,0012	<0,05

Tabla 107. Parámetros de Interés Sanitario para minas de Boyacá evaluadas

BOYACÁ PUNTO N°	DBO5	DQO	SST	G Y A	SAAM	P	PO4	NKT	NH3	NO2	NO3
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	<LC(2,14)	355,7	213	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	3,6	<LDM(0,1)	50,1	24,8	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
2	<LC(2,14)	14,89	15	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)
3	<LC(2,14)	14,89	71	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	0,15	<LDM(0,5)
4	<LC(2,14)	13,24	191	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	0,24	<LDM(0,5)
5	<LC(2,14)	446,9	510	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	0,17	4,2	1,51	0,32	<LDM(0,5)
6	<LC(2,14)	<LC(9,3)	8	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	0,16	<LDM(0,5)
7	<LC(2,14)	<LC(9,3)	12	<LC(2,0)	<LDM(0,1)	<LC(0,3)	<LDM(0,1)	<LC(1)	<LC(1)	<LDM(0,01)	<LDM(0,5)

Tabla 108. Resultados de iones y parámetros complementarios de sitios del Departamento de Boyaca.

BOYACÁ PUNTO N°	Cl-	SO4	S-	Dureza Total	Dureza Cálcica	COLOR	CN-
	mg/L	mg/L	mg/L	mgCaCO₃/L	mgCaCO₃/L	UPC	mg/L
1	<LC(3,15)	74	3,6	144	62	30	<2,5
2	98,96	57	2,8	126	60	45	<2,5
3	<LC(3,15)	19	2	16	8	75	<2,5
4	<LC(3,15)	16	1,2	16	8	45	<2,6
5	6,99	98	3,6	142	68	7,5	4,8
6	9,99	141	2,4	140	64	30	3,2
7	<LC(3,15)	126	3,2	124	52	15	4,7

6. FICHAS TÉCNICAS INDIVIDUALES

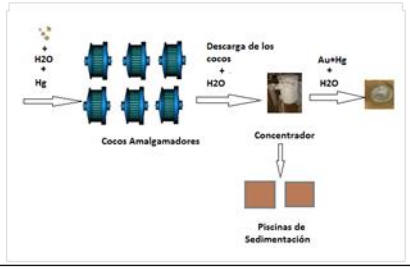
6.1. MINAS AURÍFERAS VISITADAS

6.1.1. Antioquia

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05736O04
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	SEGOVIA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	07° 05' 22.2" N 74° 41' 57,3" W	FECHA	26/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	45,3
PRODUCCION MENSUAL UPM (___)	NO SUMINISTRADO
HORAS LABORADAS MES	360
No TRABAJADORES	3



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Subterraneo		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	178,04
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	175,63	VERTIMIENTO (m³/mes)	144,64

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

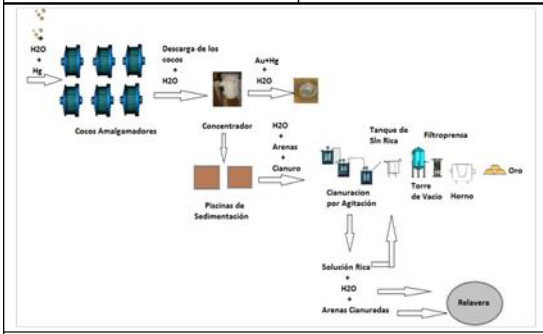
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA PROCESO - AGUA POZO SUBTERRANEA	√				4,98	<0,1	15	60
DESCARGA	√	√			5,99	<0,1	28	80
AGUA ABAJO - QUEBRADA LA CIANURADA MINERIA	√	√			6,31	1,19	45	80

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN PRIMARIA	05736O03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	SEGOVIA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	07° 04' 32.0" N 74° 41' 58,8"W	FECHA	26/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	126
PRODUCCION MENSUAL UPM (___)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	360
No TRABAJADORES	5



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Subterraneo		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	1349,89
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	1324,46	VERTIMIENTO (m³/mes)	389,77

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN	√	SUPRESION DE POLVO	√
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA AGUA POZO SUBTERRANEA	√				5,21	<0,1	80	80
DESCARGA	√	√			6,11	0,1	65	60

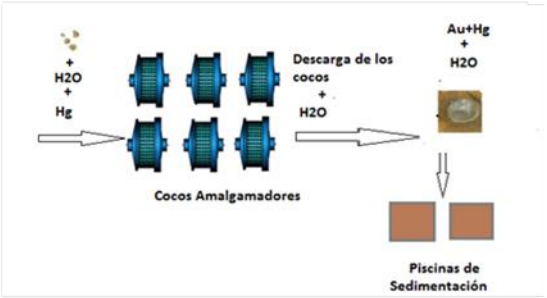
A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05736O05
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	SEGOVIA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	07° 04' 43,7" N 74° 42' 19,6"W	FECHA	26/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	52,92
PRODUCCION MENSUAL UPM (___)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	144
No TRABAJADORES	2

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DIAGRAMA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Subterraneo		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	173,02
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	163,44	VERTIMIENTO (m³/mes)	165,81

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ANTES QUEBRADA CHARCO MALDITO 1	√	√			6,33	1,5	25	40
ENTRADA PROCESO - AGUA POZO	√				4,85	<0,1	50	80
SALIDA PROCESO	√	√	√	√	5,74	1,5	105	120
DESPUES QUEBRADA CHARCO MALDITO 2	√	√			6,18	2	120	50

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05895O01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	ZARAGOZA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	07° 27' 02,5" N 74° 48' 26,8" W	FECHA	25/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAMBORES PARALELOS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	18,2
PRODUCCION MENSUAL UPM (___)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	21

DIAGRAMA

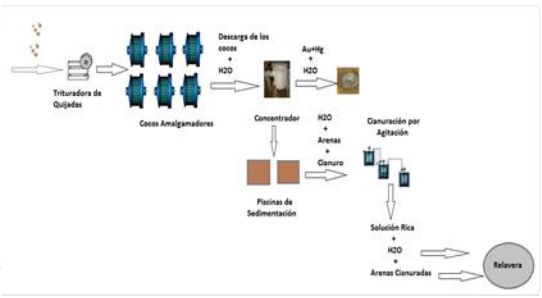


FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Arroyo		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	96,01
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	93,74	VERTIMIENTO (m³/mes)	54,36

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

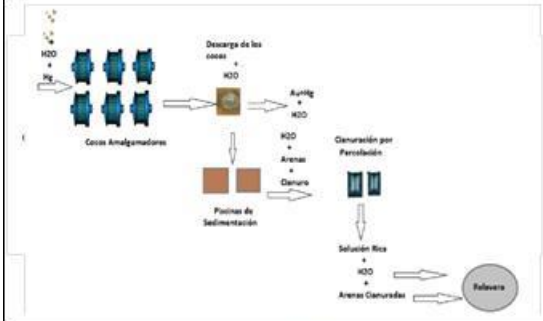
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
POZA - AGUA ENTRADA POCESO	√				4,81	<0,1	20	80
DESCARGA MINA	√	√	√	√	6,44	<0,1	130	60
ANTES DESCARGA MINA	√				5,63	<0,1	75	70
DESPUES DESCARGA MINA	√	√			3,65	<0,1	15	100

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05895O02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	ZARAGOZA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	07° 27' 05,1" N 74° 48' 28,7" W	FECHA	25/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAMBORES PARALELOS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	29,12
PRODUCCION MENSUAL UPM (___)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	234
No TRABAJADORES	12



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Arroyo		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	127,11
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	124,11	VERTIMIENTO (m³/día)	No registra

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ANTES DESCARGA ARROYO	√	√	√	√	5,48	<0,1	25	40
DESCARGA	√	√			5,62	<0,1	15	60
DESPUES DESCARGA ARROYO	√	√			6,26	<0,1	65	40

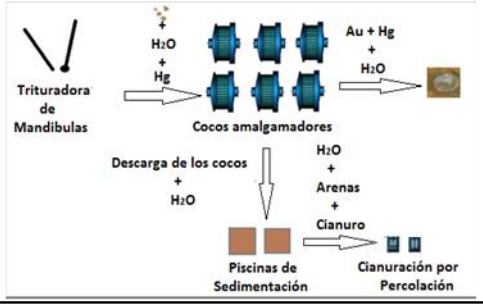
A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

6.1.2. Bolívar

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13490O02-01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	NOROSÍ
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 35' 46,9"; W 74° 05' 24,0"	FECHA	04/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	8
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	120
HORAS LABORADAS MES	96
No TRABAJADORES	6



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea			
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Pozo Suberraneo		
NOMBRE DE LA FUENTE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	29,38	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	20,27	VERTIMIENTO (m³/mes)		

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

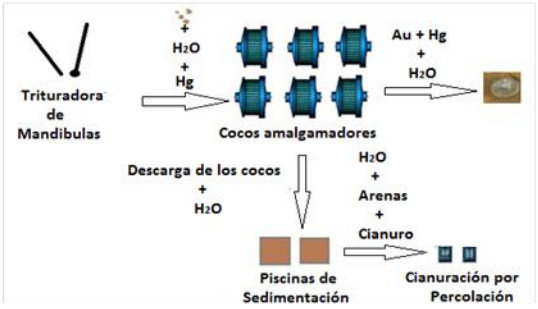
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,52	<0,1	110	38

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13490C02-02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLIVAR	MUNICIPIO	NOROSI
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 35' 44,8"; W 74° 05' 25,4"	FECHA	09/09/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	27
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	312
No TRABAJADORES	3



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO		
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial	Subterranea
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada	Pozo Profundo

NOMBRE DE LA FUENTE	ARENOSO	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	145,48
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	88,7	VERTIMIENTO (m³/mes)	79,56

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

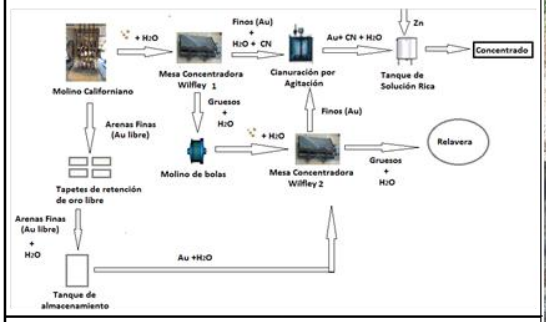
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
SALIDA MINA	√	√		√	7,84	<0,1	145	42

A*: Agua; SED : Sedimiento ; S: Suelo ; P : Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13490O01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

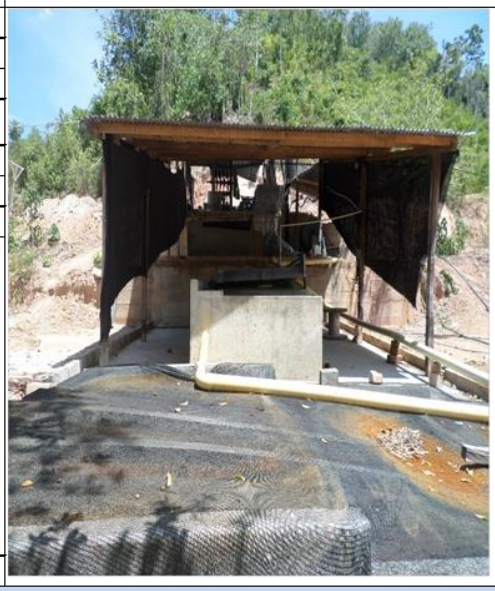
DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	NOROSÍ
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 34' 07,1"; W 74° 05' 43,6"	FECHA	04/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	7,2
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	140
HORAS LABORADAS MES	48
No TRABAJADORES	5



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO		
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Pozo Profundo

NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	555,87
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	555,82	VERTIMIENTO (m³/mes)	305,44

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION	√	CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√	√	√	√	8,85	<0,1	125	30
SALIDA MINA	√	√	√	√	10,84	0,5	140	22

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O10
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 56' 37,3"; W 74° 02' 18,3"	FECHA	06/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	312
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	40

DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	SUBTERRANEA		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	BOCAMINA		
NOMBRE DE LA FUENTE	NO REGISTRA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	4448,34
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	1006,2	VERTIMIENTO (m³/mes)	34,56

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

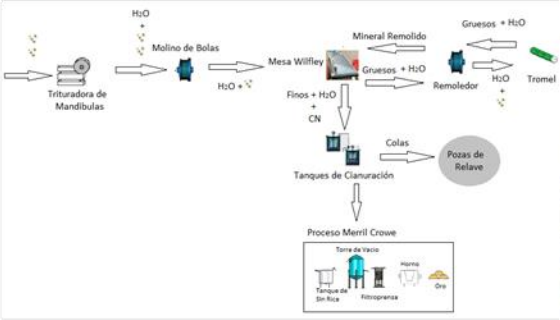
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,99	<0,1	350	34
SALIDA MINA	√		√	√	8,41	0,5	225	28

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 39' 22,2"; W 74° 05' 48,2"	FECHA	05/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	400
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	1500 - 2000
HORAS LABORADAS MES	400
No TRABAJADORES	20



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Pozo profundo	
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	1803
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	1722,2	VERTIMIENTO (m³/mes)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

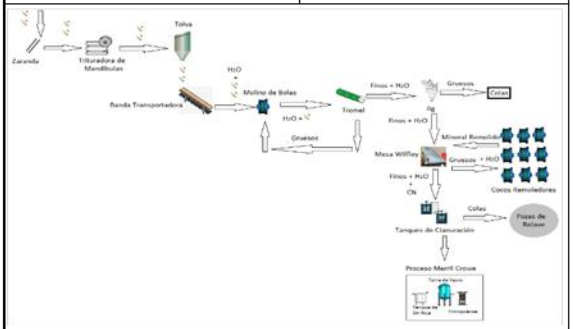
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√		√	√	8,54	<0,1	175	24
SALIDA MINA	√	√	√	√	7,67	<0,1	40	38

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O07
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 56' 20,6"; W 74° 02' 42,4"	FECHA	06/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	600
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	2000
HORAS LABORADAS MES	360
No TRABAJADORES	45



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Acueducto		Agua de reuso			
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina			Otro, Cual	Recirculación etapa concentración		
NOMBRE DE LA FUENTE				CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)			
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	5133,22			VERTIMIENTO (m³/día)			

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

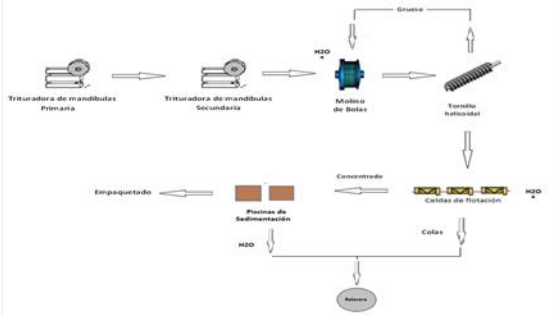
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				8,04	<0,1	215	25
SALIDA MINA	√		√	√	10,2	<0,1	125	48

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O08
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 56' 17,6"; W 74° 08' 37,5"	FECHA	06/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	2700
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	N/A
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	40



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Acueducto	Agua de reuso
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		

NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	45032,52	VERTIMIENTO (m³/mes)	9093,6

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

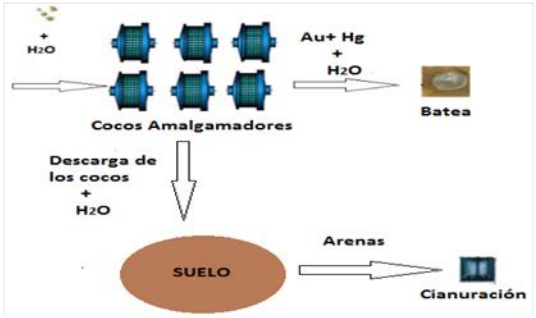
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,98	<0,1	160	34
SALIDA MINA	√				10,2	<0,1	125	48

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13030O06-02
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLIVAR	MUNICIPIO	ALTOS DEL ROSARIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 48' 13,3" ; W 74° 04' 24,2"	FECHA	09/09/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	31,2
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINSTRADA
HORAS LABORADAS MES	286
No TRABAJADORES	2



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	331,52
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	279,82	VERTIMIENTO (m³/mes)	236,6

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

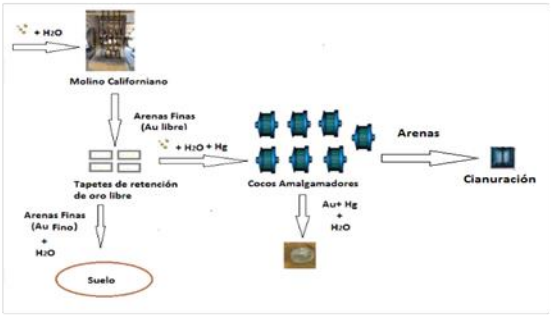
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13030O06-01
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLIVAR	MUNICIPIO	ALTOS DEL ROSARIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 48' 15,4"; W 74° 04' 21,7"	FECHA	09/09/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	150
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	INFORMACIÓN NO SUMINSTRADA
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	2



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otro, Cual	Clavada Abandonda	
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	1152,42
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	1114,12	VERTIMIENTO (m³/mes)	1101,6

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION	√	CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

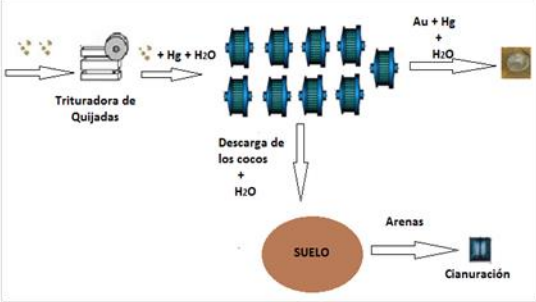
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)

A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13030C06-03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLIVAR	MUNICIPIO	ALTOS DEL ROSARIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 48' 12,8"; W 74° 04' 28,6"	FECHA	05/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	23,4
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	INFORMACIÓN NO SUMINSTRADA
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	2



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Profundo		
NOMBRE DE LA FUENTE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	149,56
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	85,31	VERTIMIENTO (m³/día)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

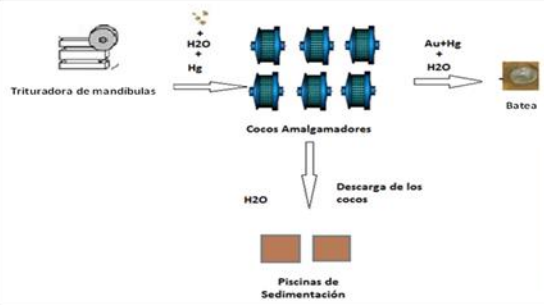
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√		√	√	6,02	<0,1	90	80
SALIDA MINA	√	√	√	√	6,99	0,5	155	84

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O04-01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08°40'44.2"; W 74° 04'56.7"	FECHA	05/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	91
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	2



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Profundo	Nacimiento		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	167,54	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	155,85	VERTIMIENTO (m³/mes)		

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

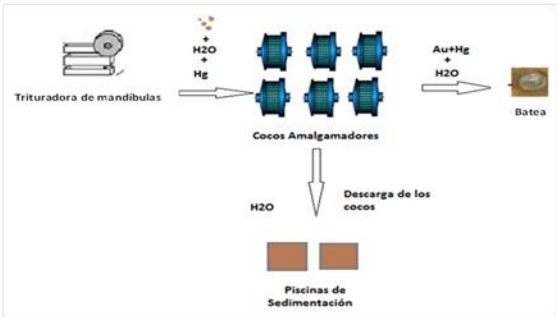
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,12	<0,1	125	38

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O04-02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08°40'50.42"; W 74° 04'50.34"	FECHA	05/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	224,64
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINISTRADO
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	4



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Pozo Profundo	Nacimiento		
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	247,25	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	219,43	VERTIMIENTO (m³/mes)		

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
SALIDA MINA	√				7,17	0,3	180	28

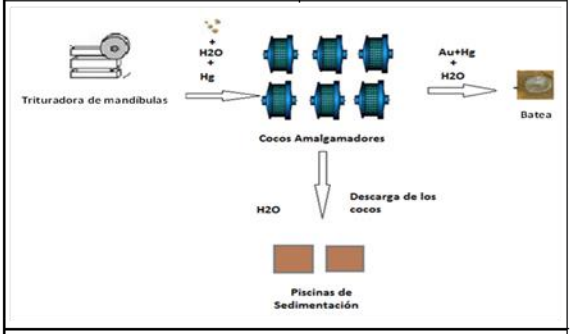
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13667O04-03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	SAN MARTÍN DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08°40'49.7"; W 74° 04'57.1"	FECHA	19/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	145,6
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	234
No TRABAJADORES	2

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DIAGRAMA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada	Nacimiento	
NOMBRE DE LA FUENTE	AZULITA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	60,81
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	58,58	VERTIMIENTO (m³/mes)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

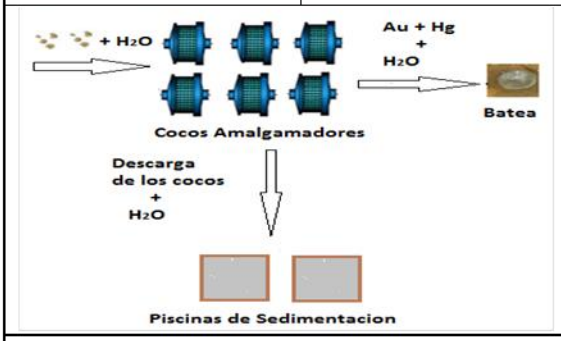
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
AGUAS ABAJO MINA	√	√	√	√	7,63	0,2	72	32

A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13030O05
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	ALTOS DEL ROSARIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 45' 28,8"; W 74° 06' 18,9"	FECHA	05/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	20,16
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	96
No TRABAJADORES	4



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO								
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Nacimiento						
NOMBRE DE LA FUENTE	No registra			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)		39,65		
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	39,36			VERTIMIENTO (m³/mes)				
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION			
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA			
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO			
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√		

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				6,15	0,8	160	22

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	13300O09
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOLÍVAR	MUNICIPIO	HATILLO DE LOBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 08° 57' 57,5"; W 74° 01' 33,0"	FECHA	06/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAMBORES EN DIAGONAL SIN RELLENO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	27
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	240
No TRABAJADORES	8

DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO

TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	SUBTERRANEA		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	BOCAMINA		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	298,2
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	230,7	VERTIMIENTO (m³/mes)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√		√	√	7,54	<0,1	265	24
SALIDA MINA	√	√	√	√	7,52	0,1	255	32

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

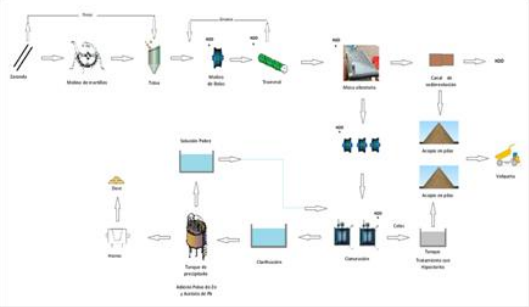
6.1.3. Cauca

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19256O09
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

V

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	EL TAMBO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 30' 00,7" W 76° 55' 22,2"	FECHA	31/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	288
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	2000 - 2500
HORAS LABORADAS MES	576
No TRABAJADORES	13



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA CHEDE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	2211,6
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	2638,92		VERTIMIENTO (m³/mes)	1330,56

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√	√			8,62	0,2	30	10
SALIDA	√	√			8,55	0,3	30	10

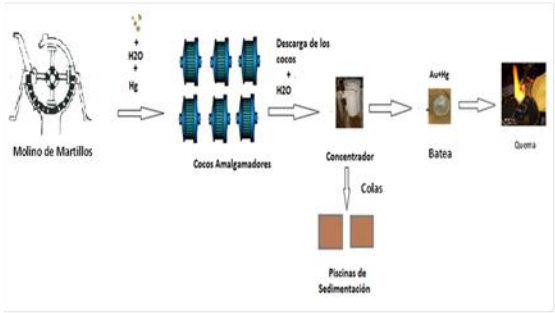
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19780O02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	SUAREZ
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 55' 46,9" W 76° 43' 00,4"	FECHA	11/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	7,2
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	250 - 300
HORAS LABORADAS MES	144
No TRABAJADORES	6

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DIAGRAMA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA ABANDONADA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	120,96
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	113,28	VERTIMIENTO (m³/mes)	109,2

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA							
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		

DATOS BASICOS MUESTREO

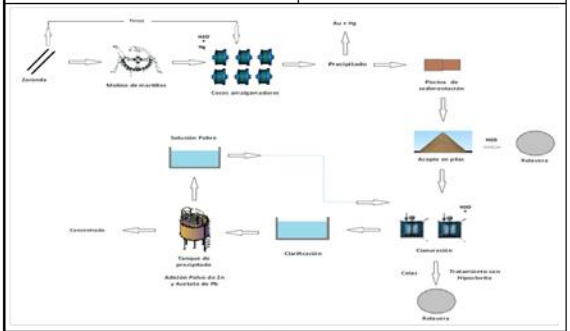
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,08	<0,1	80	30
SALIDA	√				7,26	3	160	80

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19256O07
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	EL TAMBO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 30' 04,7" W 76° 55' 12,5"	FECHA	31/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	24
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	200 -250
HORAS LABORADAS MES	192
No TRABAJADORES	4



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA ABANDONADA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	101,95
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	133,46	VERTIMIENTO (m³/mes)	676,8

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

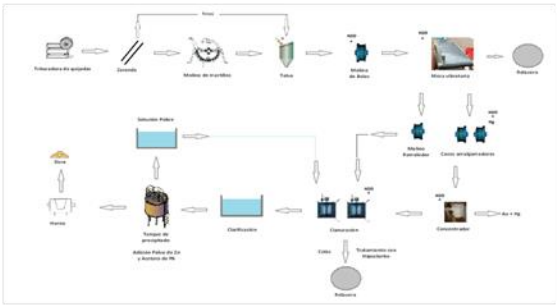
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				8,03	<0,1	40	20
SALIDA	√	√			7,97	<0,1	40	15

A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19256O06
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	EL TAMBO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 30' 03,3" W 76° 55' 11,2"	FECHA	31/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSACHE DE TAMBORES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	144
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	500 - 600
HORAS LABORADAS MES	192
No TRABAJADORES	18



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	Bocamina el Trio - Qda de Cerro Muchica		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	1104
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	841,08		VERTIMIENTO (m³/mes)	518,4

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

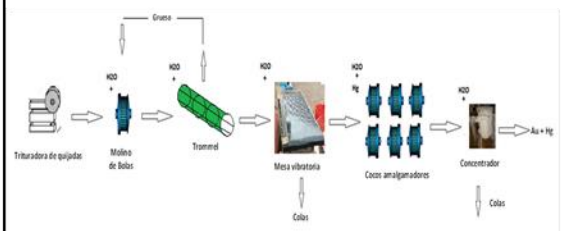
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				8,07	<0,1	55	25
SALIDA MINA	√	√	√	√	9,04	0,1	60	20
AGUAS ARRIBA QUEBRADA AGUAS CLARAS	√	√			8,34	0,1	55	20
AGUAS ABAJO QUEBRADA AGUAS CLARAS	√				8,31	0,2	55	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19110O05
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	BUENOS AIRES
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 57' 53,8" W 76° 39' 31,5"	FECHA	13/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	360
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	500 - 2000
HORAS LABORADAS MES	360
No TRABAJADORES	25



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Río		
NOMBRE DE LA FUENTE	RIO TETA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	3179,52	VERTIMIENTO (m³/mes)	43,46

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
Toma Rio Teta	√	√			7,51	0,2	25	20
Descarga hacia Rio Teta	√	√	√	√	7,94	0,7	50	18
Despues Descarga Rio Teta	√	√			7,97	0,3	45	16

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

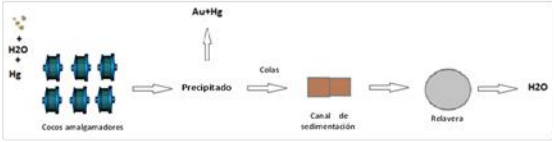
FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19622O10
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	ROSAS
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 14' 16,3" W 76° 45' 43,4"	FECHA	01/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	6
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	160
No TRABAJADORES	5

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DIAGRAMA



DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	4,54	VERTIMIENTO (m³/mes)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

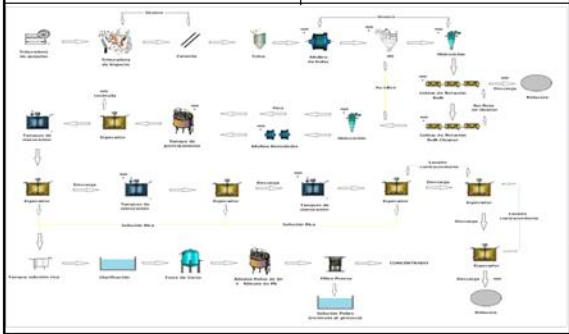
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA AGUA QUEBRADA	√				7,67	<0,1	30	20
AGUAS ARRIBA QUEBRADA JIGUA	√	√			8,18	<0,1	30	70
AGUAS ABAJO QUEBRADA JIGUA	√	√			8,26	0,1	30	20

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19110O03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

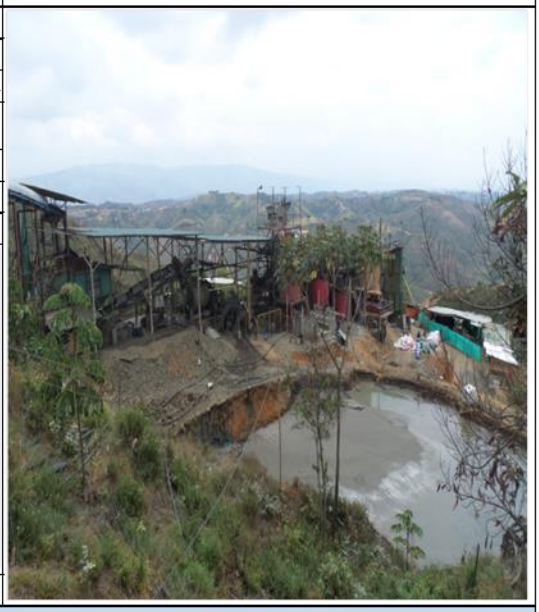
DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	BUENOS AIRES
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 58' 48,3" W 76° 38' 42,1"	FECHA	12/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	ALMACENAMIENTO PROVISIONAL
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	6000
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	720
No TRABAJADORES	17



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO								
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Quebrada						
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA PUCHIS Y QDA MADRUÑO			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)		9729,3		
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	8984,75			VERTIMIENTO (m³/mes)		3294		
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO			
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√		

DATOS BASICOS MUESTREO

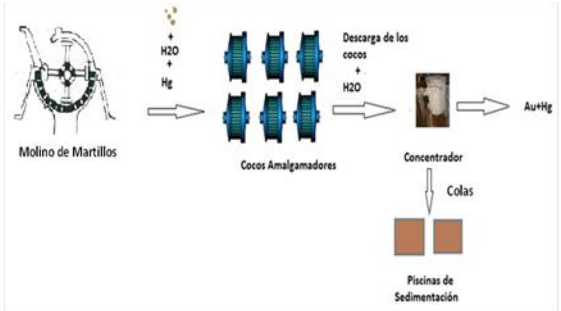
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,84	<0,1	55	16
DESCARGA QUEBRADA MADROÑO	√	√			7,63	0,3	60	40
DESCARGA RELAVERA	√	√			8,03	0,2	80	30
DESCARGA LIXIVIADOS	√	√			6,61	<0,1	30	50
AGUAS ARRIBA QUEBRADA MADROÑO	√	√	√	√	7,14	<0,1	30	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19780O01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	SUAREZ
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 56' 34,1" W 76° 41' 34,1"	FECHA	11/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	24
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	30 - 80
HORAS LABORADAS MES	288
No TRABAJADORES	4



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	QUEGRADA PEÑON	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	311,04
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	297,41	VERTIMIENTO (m³/mes)	259,2

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

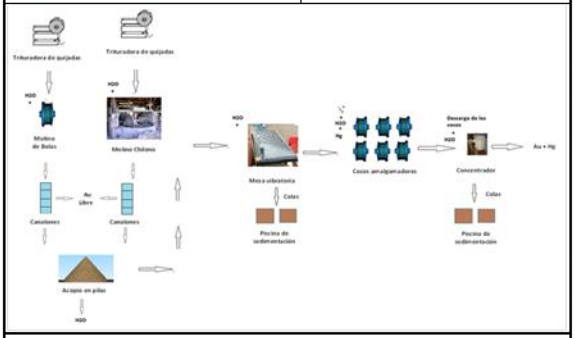
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,57	<0,1	20	10
SALIDA	√				7,34	0,15	15	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19110O04
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	BUENOS AIRES
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 58' 22'1" W 76° 39' 22,1"	FECHA	12/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUIAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	750
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	INFORMACION NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	400
No TRABAJADORES	90



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA POTOSI		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	2436,38
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	3282,48		VERTIMIENTO (m³/mes)	2890

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

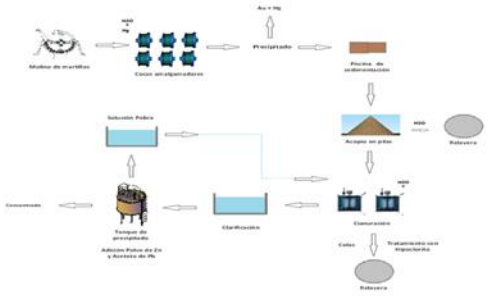
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,78	<0,1	25	10
DESCARGA	√	√	√	√	7,22	0,3	20	16

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	19256O08
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CAUCA	MUNICIPIO	EL TAMBO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	N 02° 30' 00,5" W 76° 55' 14,5"	FECHA	31/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	28
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	160
HORAS LABORADAS MES	192
No TRABAJADORES	1



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	BOCAMINA ABANDONADA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	179,27	VERTIMIENTO (m³/mes)	595,2

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,72	<0,1	55	20
SALIDA	√	√			10,38	0,3	70	20

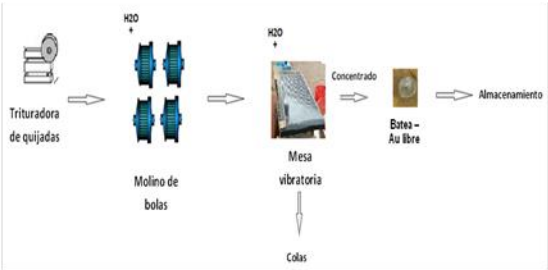
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

6.1.4. Caldas

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17614O10
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	RIO SUCIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 26' 26,4" N - 75° 42' 22,0" O	FECHA	19/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	26
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	50 - 300
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	6



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	sin dato
DEMANDA DE AGUA (m³/mes)	491,09	VERTIMIENTO (m³/mes)	sin dato

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA							
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		

DATOS BASICOS MUESTREO

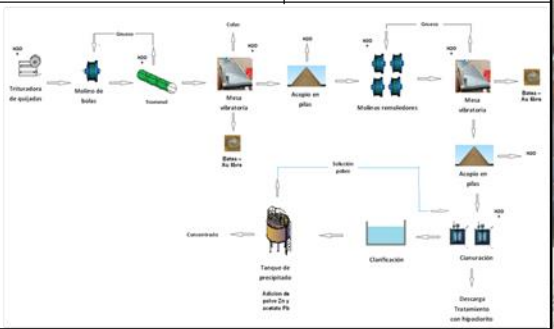
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ABASTECIMIENTO MINA	√	√			6,5	0,1	80	45
VERTIMIENTO MINA	√				6,43	0,2	68	20
AGUAS ARRIBA Q. CRISTALINA	√				6,7	0,9	125	25
AGUAS ABAJO Q. CRISTALINA	√				6,54	0,4	130	25

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 30,6" N - 75° 36' 14,9" O	FECHA	27/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	REALCES PARALELOS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/día)	520
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	650 - 700
HORAS LABORADAS MES	520
No TRABAJADORES	20



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	OBISPO y CASCABEL	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	2313,792
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	2427,04	VERTIMIENTO (m³/día)	1219,2

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION		√
PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA		√
RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

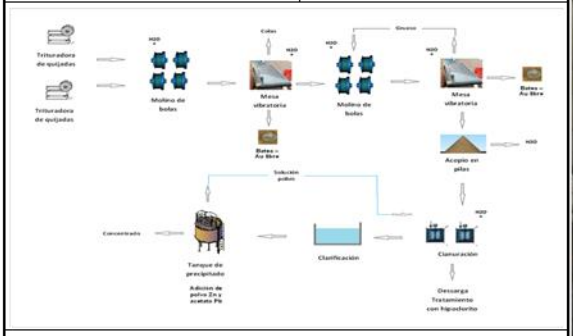
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				6,53	<0,1	55	15
SALIDA DESCARGA MINA	√	√			6,47	0,5	40	140
DESARGA MINA PROCESO CONTINUO	√				6,34	0,2	95	40

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O08
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 37,1" N - 75° 35' 58,3" O	FECHA	17/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	60
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	500 - 600
HORAS LABORADAS MES	720
No TRABAJADORES	4



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Agua de reuso vertimiento de otra UPM		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	505,62	VERTIMIENTO (m³/mes)	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

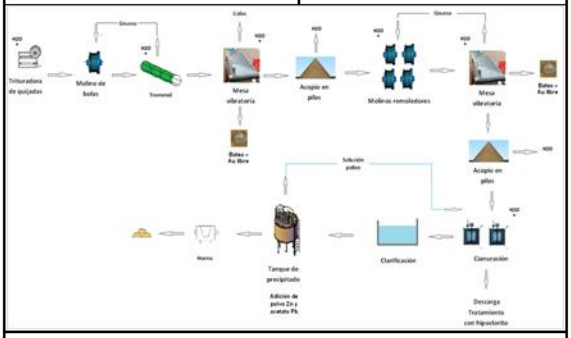
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA PROCESO	√				3,3	0,1	12	530
SALIDA PROCESO	√				4,4	2	180	475

A*: Agua; SED : Sedimiento ; S: Suelo ; P : Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O05
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 20,9" N - 75° 35' 40,0" O	FECHA	28/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	728
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	900
HORAS LABORADAS MES	624
No TRABAJADORES	9



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Agua de reuso **vertimiento de otras UPM**		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otro, Cual		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	SIN DATO
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	4078,66	VERTIMIENTO (m³/mes)	2096,4

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,7	0,3	60	25
SALIDA MINA	√				7,05	0,5	30	30

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O04
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 29' 08,6" N - 75° 30' 07,8" O	FECHA	28/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	702
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	1500
HORAS LABORADAS MES	624
No TRABAJADORES	16

DIAGRAMA

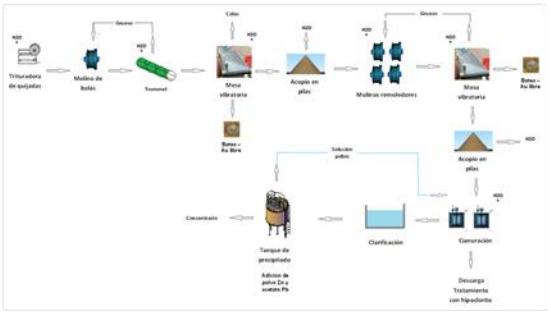


FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Agua de reuso Vertimientos otros entables y Bocamina						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina						
NOMBRE DE LA FUENTE	NO registra			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)			
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	5748,7			VERTIMIENTO (m³/mes)			
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		

DATOS BASICOS MUESTREO

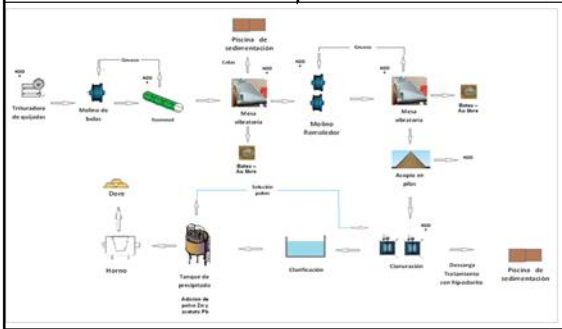
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,05	0,1	60	25
SALIDA MINA	√	√			7,29	<0,1	60	30
AGUAS ABAJO QUEBRADA PANTANO	√				7,12	0,2	85	35

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 29' 52,1" N - 75° 36' 08,0" O	FECHA	27/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	728
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
HORAS LABORADAS MES	468
No TRABAJADORES	14



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	SAN JORGE	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	12972,96
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	2393,76	VERTIMIENTO (m³/mes)	11159,68

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION		√
PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA		√
RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,4	3,4	60	20
SALIDA MINA	√				6,55	3,2	55	70
AGUAS ARRIBA - Q. SAN JORGE	√	√	√	√	7,29	1,1	50	45

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17614O06
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	RIO SUCIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 26' 19,6" N - 75° 41' 28,0" O	FECHA	15/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	208
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	200 - 700
HORAS LABORADAS MES	416
No TRABAJADORES	48

DIAGRAMA

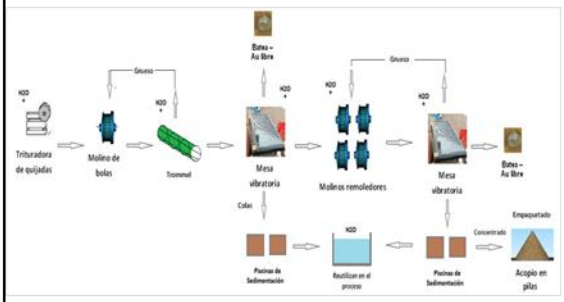
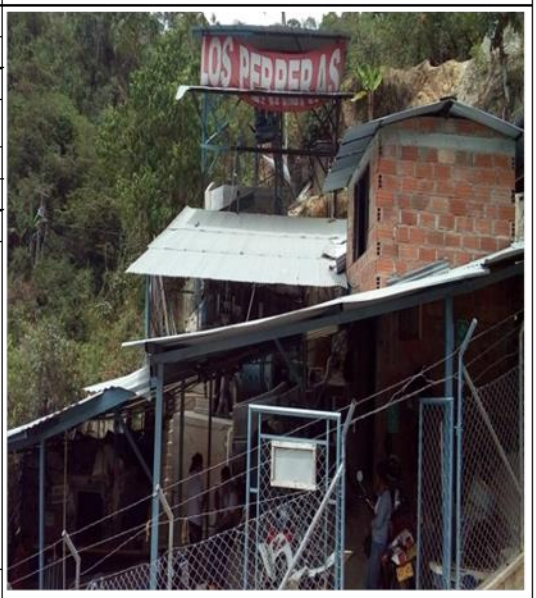


FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	SAN SEBASTIAN	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	2695,68
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	2862,08	VERTIMIENTO (m³/mes)	1614,39

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,7	1	190	60
SALIDA MINA	√	√			7,9	200	75	130
AGUAS ARRIBA Q. SAN SEBASTIAN	√	√			7,5	190	210	35
AGUAS ABAJO Q. SAN SEBASTIAN	√	√			7,5	550	210	45

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 29' 53,7" N - 75° 37' 07,4" O	FECHA	27/07/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	INFORMACIÓN NO SUMINISTRADA
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	200
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	PLANTA DE CONCENTRACIÓN
HORAS LABORADAS MES	240
No TRABAJADORES	4 (PLANTA)

DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	LA LLORONA	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	1563,84
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	523,75	VERTIMIENTO (m³/mes)	630,72

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION	√	MOLIENDA	√	CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

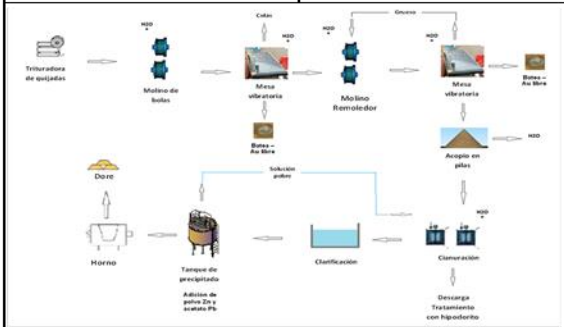
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				5,48	0,2	30	55
SALIDA MINA	√	√			6,55	3,2	45	50
AGUAS ARRIBA- Q. LA LLORONA	√		√		7,34	3,8	52	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17442O09
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	MARMATO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 20,5" N - 75° 35' 42,4" O	FECHA	18/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	N/A
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	N/A
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	208
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	900 - 1000
HORAS LABORADAS MES	624
No TRABAJADORES	12



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Agua de reuso Vertimiento de otras UPM		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otro, Cual		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	651,456
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	1239,38	VERTIMIENTO (m³/mes)	584,5

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	√
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

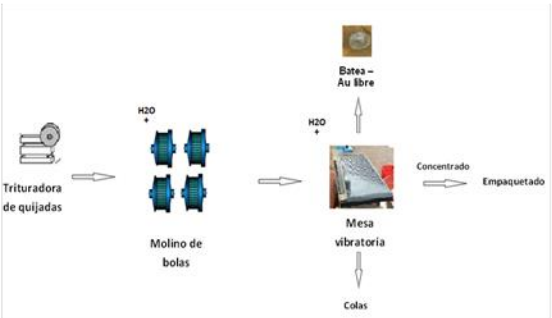
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ABASTECIMIENTO MINA	√				6	1,4	70	70
SALIDA PROCESO	√	√			6,3	1,3	50	55

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	17614O07
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CALDAS	MUNICIPIO	RIO SUCIO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 26' 18,7" N - 75° 41' 26,7" O	FECHA	15/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRANEA
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	POR GUÍAS
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/día)	104
PRODUCCION MENSUAL UPM (gr)	400
HORAS LABORADAS MES	442
No TRABAJADORES	12



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	SAN SEBASTIAN	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	922,896
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	919,36	VERTIMIENTO (m³/mes)	889,03

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA	√	CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA PROCESO MINA	√				7,8	0,1	195	80
SALIDA PROCESO	√	√			8,2	13	175	60
AGUAS ARRIBA SAN SEBASTIAN	√				7,8	100	90	50

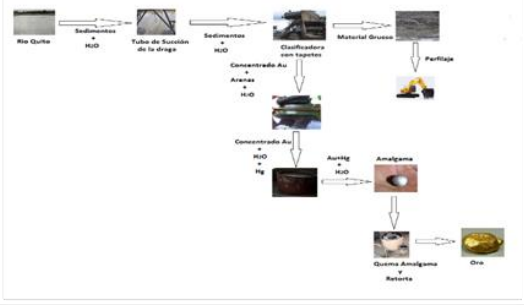
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

6.1.5. Choco

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27600O05
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	RIO QUITO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 27.5" N 76° 44' 28,5" W	FECHA	28/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	DRAGADO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m³/mes)	131427,69
PRODUCCION MENSUAL UPM (_g__)	9000-12000
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	13



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Río		
NOMBRE DE LA FUENTE	Quito	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	256025,46
DEMANDA DE AGUA (m³/mes)	256025,46	VERTIMIENTO (m³/mes)	256025,46

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION	√	CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

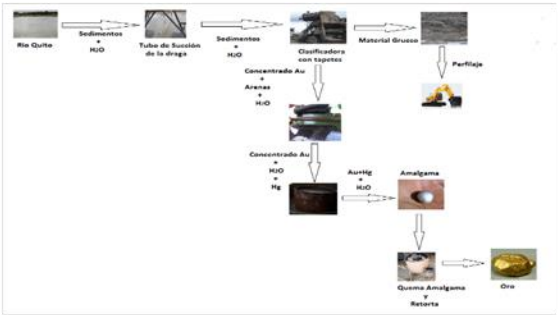
DATOS BASICOS MUESTREO								
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27600O04
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	RIO QUITO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 24.9" N 76° 44' 24,3" W	FECHA	28/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	DRAGADO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m³/mes)	101187,6923
PRODUCCION MENSUAL UPM (_g__)	9000-10500
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	15



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Río		
NOMBRE DE LA FUENTE	Quito	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	200953,2
DEMANDA DE AGUA (m³/mes)	200953,2	VERTIMIENTO (m³/mes)	200953,2

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION	√	CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

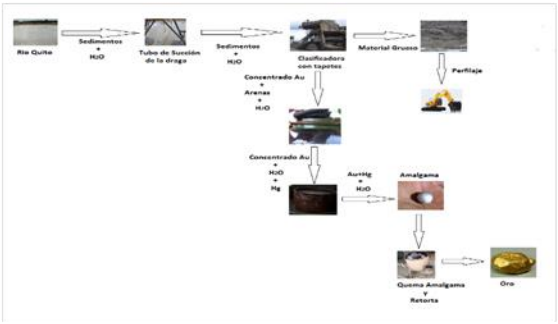
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					PH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27600O06
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	RIO QUITO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 28' 27.9" N 75° 44' 27,6" W	FECHA	28/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	DRAGADO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m³/mes)	104676,92
PRODUCCION MENSUAL UPM (_g__)	9000-12000
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	13



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Río						
NOMBRE DE LA FUENTE	Quito			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)		203537,46	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes)	203537,46			VERTIMIENTO (m³/mes)		203537,46	
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION		√
	PRECONCENTRACION	√	CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

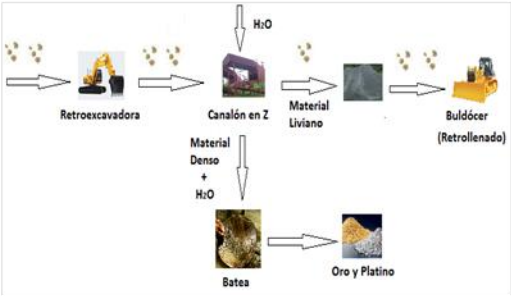
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA SUCERÓN DRAGA	√				8,3	2,4	10	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27491O02
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	NOVITA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	04° 56' 42,8" N 76° 37' 59,4" W	FECHA	27/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TERRAZAS ALUVIALES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m^3/mes)	284993,28
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	2800-3200
HORAS LABORADAS MES	572
No TRABAJADORES	50



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Lluvia	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Jaguey	Arroyos e Inflitracion.		
NOMBRE DE LA FUENTE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m^3/mes)	1081228,548	
DEMANDA DE AGUA (m^3/mes)	1081228,548	VERTIMIENTO (m^3/mes)	1081228,548	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

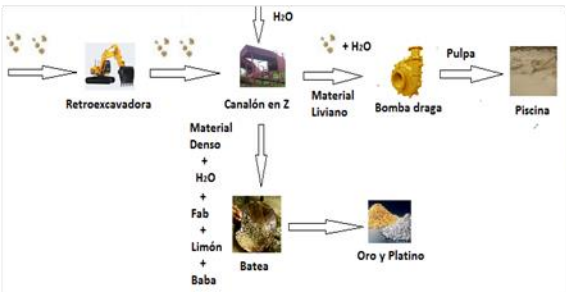
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA PROCESO	√		√	√	8,5	0,7	15	10
VERTIMIENTO MINA	√	√			8,4	15	15	10
QUEBRADA AGUAS CLARAS	√				8,1	60	10	20

A*: Agua; SED: Sedimento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27491O03
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	NOVITA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	04° 56' 09,1" N 76° 38' 25,3" W	FECHA	27/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TERRAZAS ALUVIALES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m³/mes)	247104
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	1100-1300
HORAS LABORADAS MES	572
No TRABAJADORES	16



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Lluvia	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Jaguey	Arroyos.		
NOMBRE DE LA FUENTE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	843304,368	
DEMANDA DE AGUA (m³/mes	843304,368	VERTIMIENTO (m³/mes)	843304,368	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

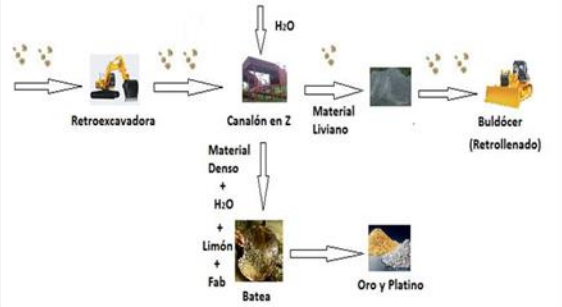
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,2	<0,1	30	5
VERTIMIENTO	√				6,8	<0,1	30	10

A*: Agua; SED: Sedimiento ; S: Suelo ; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	27205O01
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CHOCO	MUNICIPIO	CONDOTO
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 05' 09" N 76° 38' 56,5" W	FECHA	27/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	ALUVIAL
MINERAL DE INTERES	ORO
METODO DE EXPLOTACIÓN	TERRAZAS ALUVIALES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (m^3/mes)	71385,6
PRODUCCION MENSUAL UPM (g)	1690
HORAS LABORADAS MES	572
No TRABAJADORES	20



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Lluvia	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Jaguey	Arroyos		
NOMBRE DE LA FUENTE		CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m^3/mes)	432491,448	
DEMANDA DE AGUA (m^3/mes)	432491,448	VERTIMIENTO (m^3/nes)	432491,448	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	√
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN	√	HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
Sector Medio Mundo	√				6,4	0,2	15	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

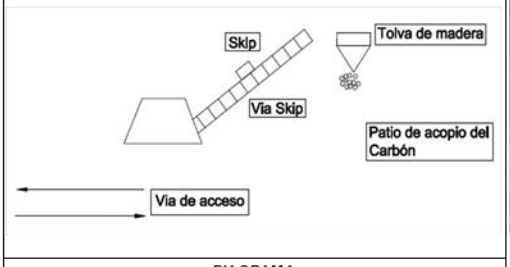
6.2. MINAS CARBONÍFERAS VISITADAS

6.2.1. Cundinamarca

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25407C04
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	LENGUAZAQUE
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 19' 35,1" N 73° 43' 09,7" W	FECHA	06/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO LARGO Y CORTO EN AVANCE
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	1500
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	1500
HORAS LABORADAS MES	400
No TRABAJADORES	35



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Quebrada		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	26,25
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	26,25	VERTIMIENTO (m³/mes)	8100

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

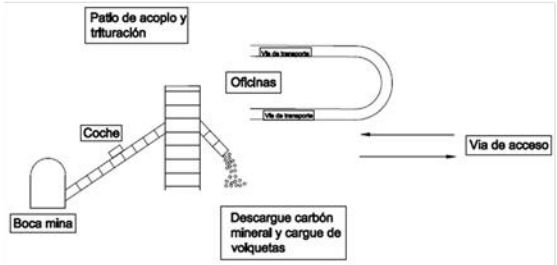
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA POZA DE SEDIMENTACION	√				7,5	1,1	420	85
DESCARGA	√	√			7,8	0,3	330	40

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25224C01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	CUCUNUBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 13' 48,1" N 73° 46' 36,2" W	FECHA	04/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSANCHE DE TAMBORES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	4000
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	4000
HORAS LABORADAS MES	480
No TRABAJADORES	120



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO			
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto Sucuneta	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	108
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	108	VERTIMIENTO (m³/mes)	1036,8

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√	√			8,4	0,3	140	20

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25317C08
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	GUACHETA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 22' 53,9" N 73° 40' 41,7" W	FECHA	03/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO LARGO Y CORTO EN AVANCE
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	2300
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	2300
HORAS LABORADAS MES	720
No TRABAJADORES	70

DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otro, Cual (Agua superficial)		
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto Regional 1	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	63
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	63	VERTIMIENTO (m³/día)	518,4

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

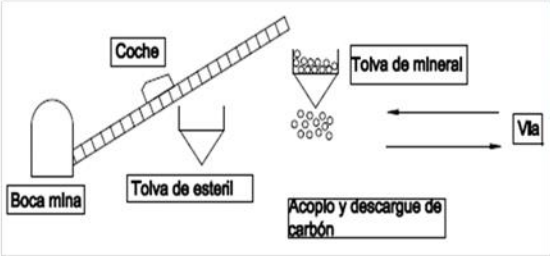
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				8,4	0,1	225	25

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25317C07
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	GUACHETA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 24' 25,67" N 73° 39' 10,31" W	FECHA	03/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO LARGO EN AVANCE
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	2000
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	2000
HORAS LABORADAS MES	600
No TRABAJADORES	65



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO				
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO		Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto regional 2	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	375	
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	102,75	VERTIMIENTO (m³/día)	272,25	

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	√
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

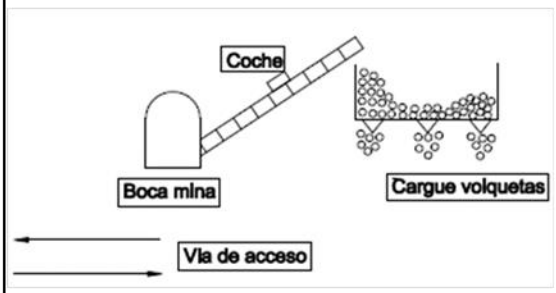
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				7,9	0,9	105	25
SALIDA MINA	√		√	√	8,2	0,2	75	20

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25407C05
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	LENGUAZAQUE
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 18' 42,9" N 73° 44' 08,6" W	FECHA	06/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSANCHE DE TAMBORES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	500
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	500
HORAS LABORADAS MES	200
No TRABAJADORES	15



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina						
NOMBRE DE LA FUENTE				CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)		90,72	
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	11,25			VERTIMIENTO (m³/día)		78,12	
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				8,0	<0,1	80	20
SALIDA	√	√			8,1	<0,1	75	20

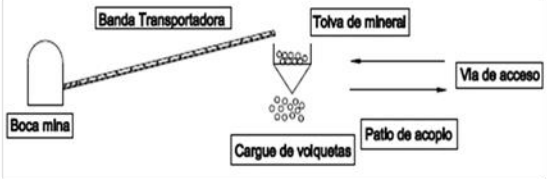
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25224C02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	CUCUNUBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 16' 23,9" N 73° 46' 26,1" W	FECHA	04/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSANCHE DE TAMBORES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	800
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	800
HORAS LABORADAS MES	320
No TRABAJADORES	25

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DIAGRAMA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO			
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto Sucuneta	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	15
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	15	VERTIMIENTO (m³/día)	257,76

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

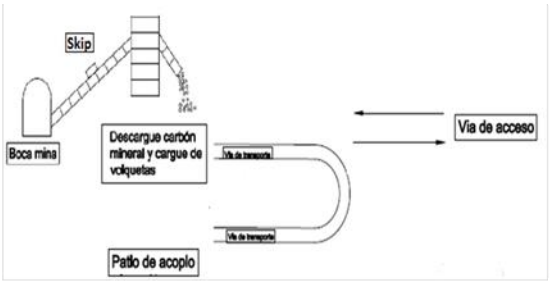
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				8,2	0,1	140	30
SALIDA MINA	√				8,2	0,2	255	45

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25224C03
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	CUCUNUBA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 13' 31,3" N 73° 46' 41,5" W	FECHA	04/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSANCHE PARALELO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	1500
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	1500
HORAS LABORADAS MES	528
No TRABAJADORES	40



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto	Subterranea					
FUENTE DE ABASTECIMIENTO		Bocamina					
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto Sucuneta			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)		495,44	
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	360,8			VERTIMIENTO (m³/mes)		134,64	
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)	√	LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

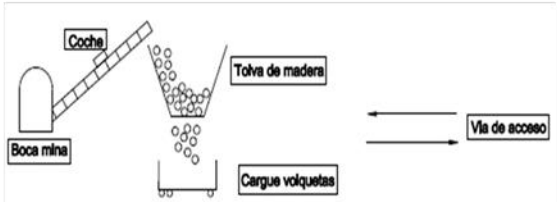
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA MINA	√				8,3	0,2	255	45
SALIDA MINA	√				8,9	0,3	275	25

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25317C06
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	GUACHETA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 24' 29,2" N 73° 39' 16,2" W	FECHA	04/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	AVANCE
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	300
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	300
HORAS LABORADAS MES	200
No TRABAJADORES	17



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto						
FUENTE DE ABASTECIMIENTO							
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto rural 2			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)		12,75	
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	12,75			VERTIMIENTO (m³/día)		2304	
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

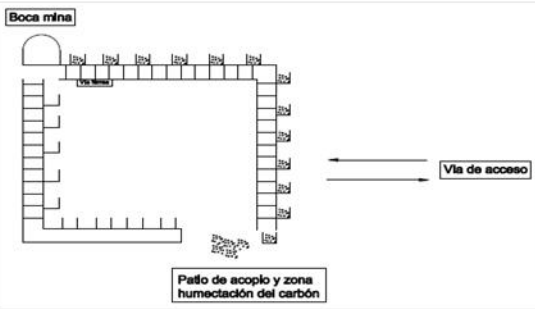
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
SALIDA BOCAMINA	√				7,3	<0,1	145	40
SALIDA TANQUE SEDIMENTACIÓN	√				7,6	<0,1	140	40
AGUAS ARRIBA Q. LA TOMA (RAMA Q. AGRASAL)	√	√			7,9	0,1	75	20
AGUAS ABAJO Q. LA TOMA (RAMA Q. AGRASAL)	√	√			8,17	<0,1	80	20

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	25317C09
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	MUNICIPIO	GUACHETA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 20' 59" N 73° 42' 14.8" W	FECHA	03/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO LARGO Y CORTO EN AVANCE
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	12000
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	12000
HORAS LABORADAS MES	720
No TRABAJADORES	320



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO							
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto	Subterranea					
FUENTE DE ABASTECIMIENTO		Pozo Profundo					
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto Regional 1, Pozo profundo			CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)		4455	
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	1215			VERTIMIENTO (m³/mes)		3240	
ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION		
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA		
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO		
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)	√	LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO		√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
Entrada mina	√				8,5	0,8	115	25
Salida mina	√				8,3	0,2	105	25

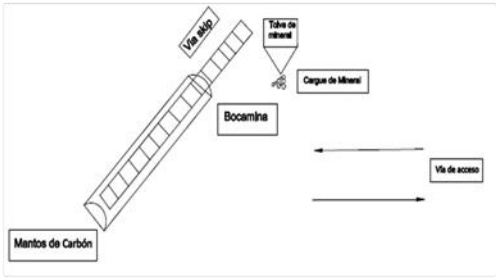
A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

6.2.2. Boyacá

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	15646C02
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOYACA	MUNICIPIO	SAMACA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 27' 25,8'' N 73° 35' 28,3'' W	FECHA	05/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO ABIERTO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	600
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	600
HORAS LABORADAS MES	240
No TRABAJADORES	18



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Acueducto		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO			
NOMBRE DE LA FUENTE	Acueducto rural Rosa Limpia	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/mes)	16,2
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	16,2	VERTIMIENTO (m³/mes)	515,16

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

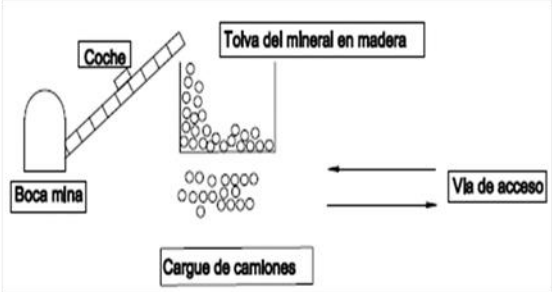
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
DESCARGA	√				7,53	0,8	85	20
LOS AJOS ARRIBA	√	√			8,04	0,1	20	20
LOS AJOS ABAJO	√	√			7,68	0,1	25	15

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	15600C01
	CODIGO UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	BOYACA	MUNICIPIO	RAQUIRA
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	05° 26' 51" N 73° 37' 1,6" W	FECHA	05/08/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	TAJO ABIERTO
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	2000
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	2000
HORAS LABORADAS MES	400
No TRABAJADORES	103



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Subterranea		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	No Registra	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	77,25
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	77,25	VERTIMIENTO (m³/día)	1215

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
ENTRADA	√				7,66	0,9	80	85
SALIDA	√	√			7,38	0,1	95	30
AGUAS ARRIBA Q. LA FIERA	√	√			7,43	0,2	5	5
AGUAS ABAJO Q. LA FIERA	√	√			7,53	0,2	10	5

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

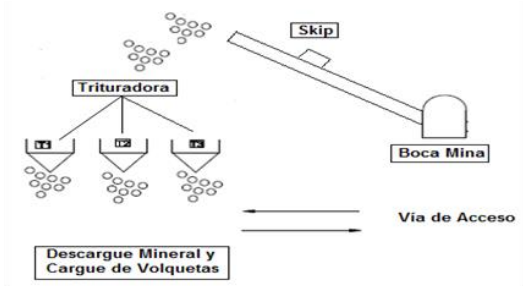
6.2.3. Antioquia

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05809C01
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	TITIRIBI
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	06° 02' 22,3" N 75° 46' 15,6" W	FE	015

geograficas

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	CAMARAS Y PILARES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	1500-2000
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	1500-2000
HORAS LABORADAS MES	554
No TRABAJADORES	85



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Nacimiento		
NOMBRE DE LA FUENTE	Nombre desconocido	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	8,4
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	8,4	VERTIMIENTO (m³/día)	235,6128

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

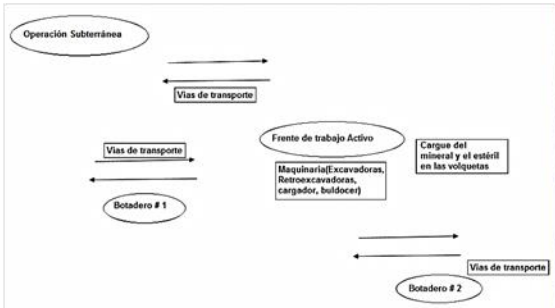
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
CAPTACIÓN AGUA	√				7,97	<0,1	315	85
VERTIMIENTO DE LA MINA	√				7,85	3,5	310	80
QUEBRADA LA SUCIA AGUAS ARRIBA	√				8,5	<0,1	90	25
QUEBRADA LA SUCIA AGUAS ABAJO	√				8,26	<0,1	95	35

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05809C04
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

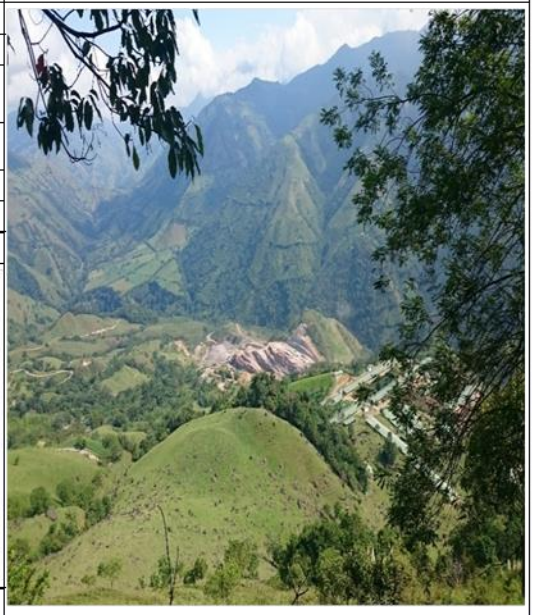
DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	TITIRIBI
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	06° 05' 32,6" N 75° 45' 18,7" W	FECHA	20/10/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	A CIELO ABIERTO
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	BANCOS CON TERRAZAS DESCENDENTES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	4500
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	4500
HORAS LABORADAS MES	520
No TRABAJADORES	33



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA



DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO	
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otras, Cuales:
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina

NOMBRE DE LA FUENTE	Desconocido	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	50,5056
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	48,609	VERTIMIENTO (m³/día)	53.568

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	√
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

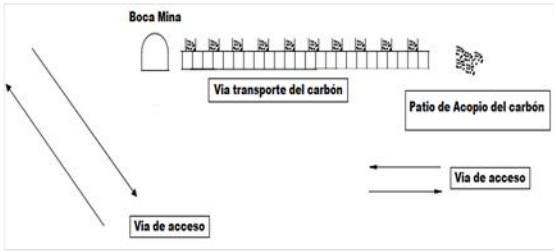
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
VERTIMIENTO MINA	√	√			7,63	<0,1	365	120

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05809C03
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	TITIRIBI
CODIGO RMIN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	06° 05' 10,4" N 75° 45' 42,7" W	FECHA	20/10/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	ENSANCHE DE TAMBORES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	2500
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	2500
HORAS LABORADAS MES	208
No TRABAJADORES	59



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Otras, Cuales:		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Bocamina		
NOMBRE DE LA FUENTE	Desconocido	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	2.5056
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	0,9744	VERTIMIENTO (m³/día)	123.552

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

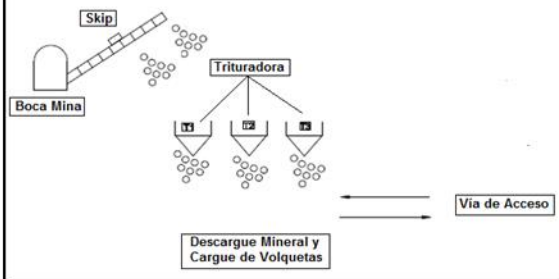
PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
VERTIMIENTO MINA	√				8,31	0,3	305	110
QUEBRADA MICA AGUAS ARRIBA	√				8,37	<0,1	55	25
QUEBRADA MICA AGUAS ABAJO	√				8,26	<0,1	135	50

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

FICHA TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA	05809C02
	NOMBRE DE UNIDAD DE PRODUCCION MINERA

DEPARTAMENTO	ANTIOQUIA	MUNICIPIO	TITIRIBI
CODIGO RMN	Confidencial		
UBICACIÓN GEOGRAFICA	06° 02' 55,5" N 75° 46' 30,2" W	FECHA	19/10/2015

DATOS BASICOS CARACTERIZACION MINERA	
TIPO DE MINERIA	SUBTERRÁNEA
MINERAL DE INTERES	CARBÓN
METODO DE EXPLOTACIÓN	CAMARAS Y PILARES
CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton/mes)	1200
PRODUCCION MENSUAL UPM (Ton)	1200
HORAS LABORADAS MES	376
No TRABAJADORES	50



DIAGRAMA

FOTO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA MINERA

DATOS BASICOS RECURSO HIDRICO			
TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Superficial		
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Nacimiento		
NOMBRE DE LA FUENTE	Las pocetas	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (m³/día)	3.7
DEMANDA DE AGUA (m³/día)	3,7	VERTIMIENTO (m³/día)	75.9456

ETAPAS DEL PROCESO DE BENEFICIO CON CONSUMO DE AGUA						
	TRITURACION		MOLIENDA		CLASIFICACION	
	PRECONCENTRACION		CONCENTRACIÓN		HIDROMETALURGIA	
	RECUPERACION DE ORO		FUNDICIÓN		SUPRESION DE POLVO	
	IRRIGACIÓN (HUMECTACIÓN)		LIMPIEZA		CONSUMO HUMANO	√

DATOS BASICOS MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	A*	SED*	S*	P*	AGUA			
					pH	SEED	Alcalinidad (mg CaCO3/L)	Acidez (mg CaCO3/L)
VERTIMIENTO MINA	√				7,95	2.5	200	105

A*: Agua; SED: Sedimiento; S: Suelo; P: Planta

7. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN EN EL PAÍS

Establecer la demanda total del recurso hídrico es necesaria porque ayuda a estimar para otros proyectos mineros, de acuerdo al tipo de minería, la cantidad de agua van a requerir. A su vez permite conocer cuándo se pueden estar presentado excesos en los usos o consumos del recurso en las unidades de producción minera.

A continuación se establecerán las demandadas totales del recurso hídrico, para la minería de Oro y Carbón.

7.1. DEMANDA TOTAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN POR DEPARTAMENTOS ANALIZADOS

El estudio estableció la demanda total del recurso hídrico, entendido esta como la sumatoria del uso y el consumo de agua en los proyectos mineros; por esta razón, sólo se tuvo en cuenta el agua de mina en los casos en que se le dio algún uso o fue consumida en las labores de explotación y beneficio del metal precioso o carbón.

Adicionalmente, para la estimación del consumo hídrico para la minería de oro se tomó como base el volumen de material procesado más que sobre la cantidad de oro extraída. Esto debido a la veracidad y la calidad de la información suministrada por los productores mineros y a las diferencias fisicoquímicas de los yacimientos y los métodos extractivos utilizados en los diferentes distritos mineros.

Por esta razón, durante la estimación de la demanda de agua se consideraron as diferencias en las características de los yacimientos y los métodos de explotación (cielo abierto y subterráneo), tanto en minería aurífera como carbonera.

Para el caso de la minería aluvial, también fue necesario realizar una diferenciación entre la demanda de agua que tiene las dragas y las realizadas con retroexcavadores, debido el material procesado en las primeras ya viene húmedo desde que es extraído del lecho del río, mientras que el material extraído con las segundas requiere suministro de agua durante la clasificación y la concentración.

En la tabla siguiente se muestran la demanda total de agua para la minería de oro y carbón, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores.

Tabla 109. Demanda de agua en la minería aurífera

TIPO DE MINERIA	CONSUMO m^3/t
Subterránea	8,40
Aluvial con retroexcavadoras	2,05
Aluvial con dragas	0,91

Tabla 110. Demanda de agua en la minería carbonífera

TIPO DE MINERIA	CONSUMO m^3/t
Subterránea	0,06
A cielo abierto	0,28

7.2. EXTRAPOLACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA PARA LA MINERÍA DE ORO Y CARBÓN A NIVEL NACIONAL.

La condición de información escasa y de baja confiabilidad debe ser considerada durante todo el proceso de análisis en la estimación de la demanda hídrica minera nacional, así:

1) Los reportes de producción minera se estiman a partir del pago de regalías por lo que a la extracción misma se suman factores como lavado de activos a través de oro que según la DIAN alcanzó los 1.500 millones de dólares en 2011 (Cubillos, 2012).
2) Los mineros son renuentes a dar información sobre su producción real por lo que durante el trabajo de campo sólo fue posible obtener los datos no confirmables de 20 minas auríferas mientras que en las restantes 26 no fue suministrada esta información.
3) Los sistemas de medición de caudales son inexistentes en la mayoría de las minas visitadas por lo que se requirieron aforos volumétricos puntuales que pueden no representar adecuadamente la condición normal de la unidad minera.
4) La distribución de los tipos de extracción utilizados en las distintas áreas mineras no ha sido determinada en el país por lo que la participación porcentual requerida al diferenciar extracción con excavadoras o dragas debe ser asumida de manera artificial.
5) La participación de los métodos extractivos (subterráneo y a cielo abierto) en la producción aurífera no está disponible para ningún municipio del país.
6) Con algunas excepciones la producción aurífera de los municipios y los departamentos en los últimos años ha sido errática mostrando fuertes incrementos y decrementos de un año al siguiente.

Bajo esta condición de información escasa, se procedió a determinar relaciones de demanda de agua en la producción aurífera a partir de los datos de producción reportada por las 20 minas distribuidas en los cinco departamentos visitados.

7.2.1. Metodología

A continuación se presenta la descripción de la metodología utilizada para estimar la demanda hídrica de la minería nacional.

7.2.1.1. Análisis estadístico para la producción aurífera

Una primera aproximación basada en el coeficiente de correlación de Pearson muestra que la mayor correlación de los datos obtenidos en campo (0.93) se presenta entre la demanda hídrica y el volumen de material procesado en planta; sin embargo, esta no es una información disponible en los reportes oficiales por lo que no resulta posible su aplicación. La correlación entre la demanda y la producción aurífera es positiva (0.71) por lo que es posible utilizar estas dos variables en la determinación de la demanda hídrica minera nacional.

La información colectada en campo se dividió entonces en producción por vía subterránea y a cielo abierto. Los análisis muestran una correlación positiva entre la producción de oro y la demanda hídrica en el caso de la minería subterránea de 0.71; sin embargo para la minería a cielo abierta, tomada en conjunto, se tiene una correlación negativa de -0.77 indicando que a mayor demanda menor producción de oro.

Un análisis más detallado reveló que al dividir la minería a cielo abierto en extracciones sobre las llanuras de inundación de aquellas realizadas mediante la extracción del material del lecho (dragado), los coeficientes de correlación varían haciéndose positivos y siendo de 0.64 para la primera y de 0.54 para la segunda.

De esta forma, se hizo evidente la diferenciación de tres relaciones entre la demanda hídrica y la producción aurífera: 1) minería subterránea estimado en 1.83 m^3/g Au; minería sobre depósitos de llanura de inundación (19.15 m^3/g Au); y dragado (216.7 m^3/g Au).

7.2.1.2. Análisis estadístico para la producción carbonera

El coeficiente de Pearson muestra una correlación positiva muy alta (0.93) entre la demanda hídrica y la producción carbonera en las minas visitadas. Separados por distritos visitados se tiene que en el distrito Zipa – Samacá las minas cundinamarquesas

tienen una correlación de 0.93 y las para boyacenses es una correlación perfecta (1) al igual que para las minas subterráneas en el distrito de Amagá (cuenca Sinifaná).

7.2.1.3. Caracterización de áreas auríferas

Posteriormente, con base en la producción municipal oficial reportada por las autoridades mineras se procedió a identificar aquellos municipios donde la presencia de la minería aluvial es la que prima, particularmente aquellos de la costa del Pacífico (Chocó, Cauca y Nariño). Esto con el objeto de obtener la participación porcentual de estos municipios en la producción minera departamental.

De esta forma se encontró que en los últimos cinco años la producción aurífera de los municipios del pacífico nariñense ha representado el 83.7 % del total departamental. La participación de estos municipios pasó del 68.8 % en 2010 a 79.4 % en 2012 y, finalmente, a 99.1 % en 2014 cuando la producción mostró un crecimiento inusitado del 87 %.

Por su parte en el departamento del Cauca la minería a cielo abierto del Pacífico representa el 40 % y la subterránea el 60 % del total departamental.

Con el objeto de diferenciar los tipos de minería a cielo abierto en estos departamentos del Pacífico se asumió una participación del 85 % en llanura de inundación (excavadoras y barequeo) y 15 % en dragas.

7.2.1.4. Caracterización de las áreas carboneras

De acuerdo con los datos colectados en campo el promedio de relación de demanda hídrica en la producción de carbón de la zona andina es de 0.06 m^3/t.

Para la zona de Cesar y La Guajira se estimó a partir de los datos de demanda suministrados por el ingeniero Amílcar Valencia, gerente ambiental de la empresa Drummond Ltd.[129], en 0.54 m^3/t, valor muy superior al anterior debido a la demanda por humectación del suelo para controlar la emisión de material particulado a la atmósfera.

7.2.2. Resultados

[129] A. Valencia. Comunicación personal. 11 de septiembre de 2015

De conformidad con lo expuesto anteriormente se estimaron las demandas en las diferentes áreas auríferas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 111. Estimación de la demanda hídrica en la minería aurífera colombiana

Departamento	Máx prod anual alcanzada (g)	Demanda hídrica estimada (m^3)	Departamento	Máx prod anual alcanzada (g)	Demanda hídrica estimada (m^3)
Chocó llanura	8.374.668	1.814.371.816	Huila	292.045	534.443
Chocó dragas	19.540.892	374.208.081	Risaralda	255.552	467.660
Nariño Pacífico	4.342.038	211.782.900	Putumayo	73.373	134.272
Cauca Pacífico	1.725.770	84.174.413	Quindío	44.698	81.798
Antioquia	28.091.122	51.406.754	Vaupés	12.016	21.989
Guanía	1.118.944	21.427.770	Amazonas	11.575	21.182
Córdoba	8.211.345	15.026.761	Atlántico	9.195	16.827
Bolívar	6.874.578	12.580.478	Magdalena	8.236	15.072
Nariño	4.565.106	8.354.143	Caquetá	3.839	7.026
Cauca	2.588.654	4.737.238	Vichada	1.634	2.990
Caldas	2.089.266	3.823.357	Boyacá	1.577	2.885
Norte de S/der	845.582	1.547.415	Cundinamarca	686	1.256
Valle	718.475	1.314.810	Cesar	609	1.114
Santander	650.786	1.190.939	Arauca	428	783
Sucre	521.122	953.654	Meta	160	293
Tolima	483.034	883.952	**TOTAL ESTIMADO ANUAL (m^3)**		**2.609.094.069**

Fuente de la producción aurífera: Minercol (2011 – 2003), SGC (2004 – 2010), ANM (2011-2014)

Como es de esperar, las mayores demandas están localizadas en las áreas mineras del Pacífico colombiano donde el uso de agua es intensivo debido a los métodos utilizados y a la ineficiencia de los procesos de beneficio del oro.

La mayor demanda se concentra en Chocó con el 83.8 % y de este porcentaje el 69.5 % corresponde a la minería de las llanuras aluviales y el 14.3 % a las dragas: En tercer lugar se encuentra el pacífico nariñense con el 8.1 % seguido por los municipios del pacífico caucano con el 3.2 %. De esta forma, el 95.1 % de la demanda hídrica está concentrada en los municipios auríferos del Pacífico.

Entre los departamentos de Antioquia, Guainía, Córdoba y Bolívar concentran el 3.8 % quedando el 1.1 restante para las otras 23 regiones auríferas.

Tabla 112. Estimación de la demanda hídrica en la minería carbonera colombiana

Departamento	Máx prod anual alcanzada (t)	Demanda hídrica estimada (m^3)
Cesar	47.306.240	14.191.872
La Guajira	35.092.700	10.527.810
Cundinamarca	3.063.220	183.793
Boyacá	2.753.960	165.238
Córdoba	512.120	153.636
Norte de S/der	2.198.040	131.882
Antioquia	655.800	39.348
Varios	225.440	13.526
Casanare	40.820	2.449
Cauca	40.820	2.449
Santander	139	8
Valle del Cauca	113	7
TOTAL ESTIMADO ANUAL (m^3)		**25.412.004**

Fuente de la producción: Minercol (2011 – 2003), SGC (2004 – 2010), ANM (2011-2014)

Tanto por el volumen de producción como por la demanda en control de material particulado, la mayor demanda corresponde a la zona caribe con el 98.8 % del total nacional. El distrito minero de Zipa – Samacá representa el 0.8 % y Norte de Santander el 0.3 %; es así como los cuatro distritos mineros con mayor producción concentran el 99.9 % de la demanda hídrica estimada.

Como un caso particular se tiene una explotación de carbón a cielo abierto en Amagá cuya relación de demanda es de 0.28 m^3/t.

7.2.3. Conclusiones

Debido a la incertidumbre de la información utilizada y al poco número de datos empleados, los resultados obtenidos deben considerarse como indicativos. Su uso en documentos o herramientas posteriores debe indicar estas restricciones.

La demanda estimada bajo estas circunstancias para la minería del oro y el carbón en conjunto es de 2.654,5 millones de metros cúbicos (Mm^3) anuales, distribuidos en 1.7 % para la extracción aurífera y 98.3 % para la carbonera.

El valor estimado en esta investigación resulta muy superior a aquel reportado por UPME & UIS (2014)[130] que hace referencia a 129 Mm^3 manifestando que correspondió al 0.48 % del total nacional en 2013. Infortunadamente, el estudio citado no ofrece la metodología utilizada en sus cálculos por lo que no permite determinar el origen de esta gran diferencia.

[130] UPME, & UIS. (2014). *Estimación de áreas intervenidas, consumo de agua, energía y costos de producción en la actividad minera.* Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, Subdirección de Planeación Minera. Bogotá: Informe preparado por la Universidad Industrial de Santander -UIS

8. ANÁLISIS DE IMPACTO EN TÉRMINOS DEL CAMBIO EN LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA RECEPTORES GENERADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Y CARBÓN

La minería de oro y carbón, dependiendo de la infraestructura asociada a las operaciones unitarias requeridas, conforme la escala de producción que posea la UPM, está utilizando altas cantidades de recurso hídrico, las cuales proviene de cuerpos de aguas superficiales, subterráneas ubicadas en el área de influencia del proyecto minero y/o aguas lluvias almacenadas en sistemas de almacenamiento de la Unidad. Estos requerimientos del recurso hídrico contribuyen a la movilidad de materiales generados en las etapas que posee la operación UPM.

Consecuentemente con lo anterior, los volúmenes de aguas usados permiten que se presente una dilución de los contaminantes que se puedan estar generando en las operaciones del proyecto, sin embargo estos contaminantes tienen como sumideros los sedimentos y material biológico ubicado en los sistemas lenticos que se alimentan de los cauces de los cuerpos de aguas que transitan por el área de influencia del proyecto minero y que se convierten en cuerpos receptores de los vertimientos de las UPM.

Los cambios generados en la calidad del agua para los cuerpos que se encuentran en las zonas donde se desarrollan los proyectos mineros del país, en general, están siendo afectados, básicamente en el contenido de sólidos suspendidos en la mayoría de los proyectos evaluados en este estudio.

La relación que existe entre el carbono, el nitrógeno y el fósforo presente, en los diferentes escenarios evaluados, no permiten que se genere los fenómenos de eutrofización, debido a que la relación 100:10:1 no se cumple en ninguno de los casos evaluados; sin embargo, la presencia de material suspendidos, si pueden llegar a afectar las características de transparencia en los sistemas lenticos, produciendo un cambio en la dinámica de estos cuerpos de aguas, debido a que aumentan el nivel de sedimentos y la turbiedad de los cuerpos de agua, evitando la penetración de la radiación solar hasta el fondo del cuerpo de agua, lo cual conlleva, posiblemente, a variaciones de tipo microbiano en el fondo del sistema lentico.

Los parámetros utilizados para cuantificar Índice de Calidad de Agua – ICA, no están siendo afectados en la gran mayoría de los casos.

La presencia de metales pesados en nivele trazas en la mayoría de los casos, no es garantía de que estemos exentos de procesos de incorporación de éstos en las cadenas tróficas de las zonas de influencia de las UPM evaluadas, debido a que este tipo de elementos sufren fenómenos de acumulación, bioacumulación y biomegnificación.

8.1. ANÁLISIS DEL IMPACTO AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN MINERA EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DEL CUERPO DE AGUA RECEPTOR DEFINIDOS POR LA AUTORIDAD AMBIENTAL.

Con el fin de determinar el impacto que las unidades productivas mineras (UPM) visitadas pueden estar causando a los cuerpos de agua receptor, se analizaran los resultados del muestreo de vertimientos generados en cada una de ellas que sobrepasen los límites permisibles de acuerdo al Decreto 631 de 2015 estipulados en su artículo 10.

8.1.1. Minería Aurífera

8.1.1.1. Distrito minero de Nordeste antioqueño (Antioquia)

Los vertimientos de las aguas de la UPM estudiadas en este distrito minero se realizan sin previo tratamiento dentro de las unidades mineras llegando a cuerpos de agua superficiales dentro de la cuenca del río Nechí (Tabla 113)

Tabla 113. Cuerpos de agua receptor en el distrito minero del Nordeste antioqueño.

UPM	Cuerpo Receptor Directo	Cuerpo Receptor Final
05895O01	Quebrada la Ocá	Rio Nechí
05895O02	Quebrada la Ocá	Rio Nechí
05736O03	Quebrada la Cianurada	Rio Nechí
05736O04	Quebrada la Cianurada	Rio Nechí
05736O05	Quebrada la Cianurada	Rio Nechí

Las UPM 05895O01 y 05895O02 se encuentran ubicadas en el municipio de Zaragoza y presentan vertimientos que a través de una corriente llega hasta la quebrada La Ocá que, a su vez, es utilizada como receptor de otras UPM y para consumo humano y domestico de la población aledaña.

La UPM 05895O01 genera un vertimiento con concentraciones de Hg (0,549 mg/l), Fe (2,83 mg/l) y SST (74 mg/l) que exceden los valores máximo permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 y metales como Cd, Pb, Zn, Ni y Cr en menor concentración; así también, la UPM 05895O02 genera vertimientos con pH ácidos (5,62), con concentraciones de Hg (0,091 mg/l) y Fe (2,02 mg/l) que exceden los valores límites permisibles establecidos en la normatividad vigente y otros metales como Cd, Pb, Zn, Ni, Cr en menor medida.

Los impactos agregados por el vertimiento del agua de los procesos mineros sobre el cuerpo de agua receptor están relacionados con cambios en la calidad fisicoquímica del agua, resultado de los altos contenidos de solidos suspendidos totales, mercurio, hierro y pH ácidos; de esta manera, aunque las UPM estudiadas estén aportando otras sustancias de importancia sanitaria en concentraciones bajas, estos podrían ser causantes del deterioro de la calidad del cuerpo de agua y dando como resultado disminución en la disponibilidad del mismo.

Tabla 114. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de las UPM 05895O01 y 05895O02

parámetro	unidad	Límite de la norma	Aguas arriba Q. Ocá	Vertimiento UPM 05895O01	Vertimiento UPM 05895O02	Aguas abajo Q. Ocá
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	5,63	6,44	5,62	3,65
SST	mg/L	50,00	120	74	31	299
Fe	mg/L	2,00	9,54	2,83	2,02	10,99
Hg	mg/L	0,002	0,005	0,549	0,091	0,015

Las concentraciones de metales pesados aumentan aguas abajo de los puntos de vertimiento, lo cual indica que hay una incidencia de las concentraciones de metales que llegan al cuerpo de agua por medio de los vertimientos, considerándose esto como un impacto agregado de la actividad minera de la zona; así mismo se da una disminución del pH y la alcalinidad, un aumento de la acides, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), dureza cálcica (DCA), dureza total (DT) y color aguas abajo del vertimiento.

Las UPM 05736O03, 05736O04, 05736O05 se encuentran ubicadas en el municipio de Segovia y presentan, junto con otras UPM, vertimientos directos a la quebrada La Cianurada que rodea el casco urbano del municipio y hace parte de la red de drenaje conocida como María Dama perteneciente a la microcuenca de la quebrada Doña teresa en la subcuenca del río Nechí, afluente del río Cauca.

En relación con la calidad de agua para el municipio, la autoridad ambiental encargada de la zona ha estipulado mediante los acuerdos 441 de 2013 y 445 de 2014 las metas de calidad de agua en los tramos de los ríos dentro de su jurisdicción; de esta manera se tiene para la quebrada La Cianurada, principal receptora del municipio, metas de reducción de carga contaminante globales e individuales para el quinquenio 2014-2018. No se realizará la comparación de los resultados en campo y las metas debido a que estas están estipuladas de manera anual y los resultados de campo solo indican situaciones actuales y puntuales.

La UPM 05736O03 genera un vertimiento con concentraciones de demanda química de oxígeno -DQO (158,1 mg/l), Cd (0,45 mg/l), Fe (87,24 mg/l), Pb (11,72 mg/l), Zn (4,03 mg/l), Hg (18,384 mg/l), SST (1016 mg/l) y S- (1,2 mg/l) que exceden los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 y metales pesados como As, Ni, Cu y Cr en menor medida.

La UPM 05736O04 genera vertimientos con pH ácidos (5,99), concentraciones de Cd (0,11 mg/l) Fe (96,22 mg/l), Pb (5,92 mg/l), Cu (1,23 mg/l) Hg (12,89 mg/l), DQO (350,6 mg/l), SST (1753 mg/l) y S- (1,6 mg/l) que exceden los valores máximos permisibles establecidos y metales pesados como As, Zn, Ni y Cr en menor medida.

La UPM 05736O05 genera vertimientos con pH ácidos (5,74), con concentraciones de Fe (27,83 mg/l), Pb (1,93 mg/l), Hg (2,56 mg/l) y SST (386 mg/l) que exceden los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 y metales pesados como As, Cd, Zn, Ni, Cu y Cr en menor medida.

Los impactos agregados por el vertimiento del agua de los procesos mineros sobre el cuerpo de agua receptor están relacionados con cambios en la calidad fisicoquímica del agua, resultado de los altos contenidos de solidos suspendidos totales, mercurio, cadmio, plomo, cobre, zinc, hierro y pH ácidos; de esta manera, aunque las UPM estudiadas estén aportando otras sustancias de importancia sanitaria en concentraciones bajas, estos aportes podrían ser causantes del deterioro de la calidad del cuerpo de agua y como resultado disminución en la disponibilidad del mismo.

Tabla 115. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de las UPM 05736O03, 05736O04 y 05736O05

Parámetro	Unidad	Límite de la norma	Aguas arriba Q la Cianurada	Vertimiento UPM 05736O03	Vertimiento UPM 05736O04	Vertimiento UPM 05736O05	Aguas abajo Q la Cianurada
pH	Unidades de pH	6 a 9	6,18	6,11	5,99	5,74	6,31
DQO	mg/L O_2	150	17,24	158,1	350,6	135,1	31,61
SST	mg/L	50	<LDM(6)	1016	1753	386	399
S	mg/L	1	0,8	1,2	1,6	<LDM(0,5)	<LDM(0,5)
Cd	mg/L	0,05	0,001284	0,458	0,116	0,030	0,248
Zn	mg/L	3	0,15	4,03	2,65	0,95	3,31
Cu	mg/L	1	<L.D	0,03	1,23	<LD	0,38
Fe	mg/L	2	0,23	87,24	96,22	27,83	7,91
Hg	mg/L	0,002	0,007	18,384	12,896	2,561	1,555
Pb	mg/L	0,2	0,002108	11,722	5,922	1,937	2,013

Las concentraciones de metales pesados aumentan aguas abajo de los puntos de vertimiento, lo cual indica que hay una incidencia de las concentraciones de metales que

llegan al cuerpo de agua por medio de los vertimientos, considerándose esto como un impacto agregado de la actividad minera de la zona; así mismo se da una aumento de SST y DQO aguas abajo del vertimiento.

8.1.1.2. Distrito minero de San Martín de Loba (Bolívar)

a. Cuenca hidrográfica medio magdalena

En la siguiente tabla se observan las UPM visitadas sobre la cuenca del Magdalena Medio que vierten en un cuerpo de agua superficial receptor:

Tabla 116. Cuerpos de agua receptores por UPM visitada

UPM	Cuerpo Recetor Directo	Cuerpo Receptor Final
13490O02	Quebrada Arenoso	Brazo Rosario - Río Magdalena
13490O03	Quebrada La Danta	Brazo Papayal - Río Magdalena
13490O04	Quebrada Azulita	Brazo Papayal - Río Magdalena
13490O08	Ciénaga Santa Rosa	
13490O010	Quebrada El Puerto	Brazo Papayal - Río Magdalena

En las UPM que realizan un vertimiento directo a un cuerpo de agua superficial se tendrán en cuenta los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles (LMP) en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales provenientes de actividad minera establecidos en la Resolución 631 de 2015, identificando aquellos que sobrepasan los límites fijados por la norma.

UPM 13490O02

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de Norosí y presenta un vertimiento directo a la quebrada Arenoso, al momento de la visita se encontraba en caudal nulo por lo cual no fue posible determinar la calidad del cuerpo receptor. Este, además de recibir los vertimientos de otras UPM en la zona, sirve de abastecimiento para actividades agropecuarias a las poblaciones aguas abajo del proyecto minero. El vertimiento de la UPM sobrepasa los valores LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales, hierro, plomo, cobre, mercurio y sulfato, como se observa en la tabla.

Tabla 117. Resultados Fisicoquímicos UPM 13490O02

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50	1894.5
Hierro (Fe)	2.00	80.01
Plomo (Pb)	0.20	9.284
Cobre (Cu)	1.0	8.51
Mercurio (Hg)	0.002	2.378
Sulfato (SO_4)	1200.00	2587.5

UPM 13667O03

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de San Martín de Loba, presenta un vertimiento directo a la quebrada La Danta, al momento de la visita se encontraba sin caudal líquido por lo cual no se tiene un dato de calidad de este cuerpo receptor que ha sufrido cambios en su caudal como en su calidad debido a la presencia de proyectos mineros y actividades ganaderas. El vertimiento de la UPM sobrepasa los LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales, mercurio y sulfato. Como se observa en la tabla:

Tabla 118. Resultados Fisicoquímicos UPM 13490O03

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50	592
Mercurio (Hg)	0.002	5.671
Sulfato (SO_4)	1200.00	1687.5

UPM 13667O04

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de San Martín de Loba, presenta un vertimiento difuso a la quebrada Azulita, al momento de la visita presentaba un régimen hídrico mínimo debido a la época de sequía. Este cuerpo atraviesa el corregimiento de Pueblito Mejía, siendo receptor de todas las aguas de mina provenientes de las unidades de producción minera en la zona; aguas abajo sirve de abastecimiento para la población que vive de la extracción de oro.

La quebrada Azulita aguas abajo de la UPM sobrepasa los LMP en los parámetros de pH, solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, cadmio, hierro, plomo, cinc, cobre, mercurio y demanda Bioquímica de Oxigeno a cinco días (DBO_5). Como se evidencia en la tabla:

Tabla 119. Resultados Fisicoquímicos Quebrada Azulita

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
pH	6.00 a 9.00	3.57
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	2289
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150.00	178.6
Cadmio (Cd)	0,05	1.3210
Hierro (Fe)	2.00	97.96
Plomo (Pb)	0,20	9.6650
Cinc (Zn)	3.00	5.93
Cobre (Cu)	1.0	6.83
Mercurio (Hg)	0.002	3.968
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	50.00	124

UPM 13667O08

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de San Martín de Loba, no presenta vertimiento a un cuerpo de agua superficial puesto que las colas del proceso de beneficio son depositadas en relaveras, para posterior recirculación. Sin embargo, se considera la ciénaga Santa Rosa, con actividad pesquera para consumo local, como recurso hídrico posiblemente impactado por la UPM debido a las características de la escorrentía en períodos invernales.

El vertimiento de la UPM sobrepasa los LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales, cadmio, hierro, plomo, cinc y mercurio.

Tabla 120. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O08

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	14290
Cadmio (Cd)	0,05	0.3610
Hierro (Fe)	2.00	48.314
Plomo (Pb)	0,20	3.7150
Cinc (Zn)	3.00	4.13
Mercurio (Hg)	0.002	10.976

UPM 13667O10

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de San Martín de Loba y descarga sus vertidos al canal El Puerto, un drenaje artificial construido exclusivamente para recibir los efluentes provenientes de los procesos mineros de la UPM y que en época de lluvias se convierte en tributario del río Magdalena. Las concentraciones halladas en este canal sobrepasan los LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales y mercurio. Como se describe en la tabla:

Tabla 121. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O010

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	2313
Mercurio (Hg)	0.002	3.567

UPM 13490O01

En esta unidad, ubicada en el municipio de Norosí, los efluentes son conducidos hacia relaveras carentes de impermeabilización. El vertimiento de la UPM sobrepasa los LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales, cobre, mercurio y sulfato. No se evidencia la presencia de un cuerpo superficial cercano que se pueda ver afectado por las concentraciones.

Tabla 122. Resultados Fisicoquímicos UPM 13667O01

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	466
Cobre (Cu)	1.0	1.91
Mercurio (Hg)	0.002	5.945
Sulfato (SO_4)	1200.00	1337.5

UPM 13030O05

Para esta mina, del municipio de Altos del Rosario, se encontró que los vertimientos son llevados a pozas de sedimentación donde se infiltran. No se evidencia la presencia de un cuerpo de agua superficial cercano que se pueda ver afectado por las concentraciones.

UPM 13030O06

Al igual que la anterior, esta unidad, localizada en el mismo municipio, utiliza pozas para favorecer la infiltración por lo cual no se registran vertimientos a corrientes hídricas superficiales; no obstante, en ocasiones ocurren descargas sobre la ladera. Estos efluentes sobrepasan los LMP en los parámetros de solidos suspendidos totales, cadmio, hierro, plomo, cinc, cobre, cromo, mercurio y sulfato, no se evidencia la presencia de un cuerpo de agua superficial cercano que se pueda ver afectado por las concentraciones. Como se detalla en la tabla:

Tabla 123. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O06

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	7865
Cadmio (Cd)	0,05	0.2580
Hierro (Fe)	2.00	265.33
Plomo (Pb)	0,20	2.8220
Cinc (Zn)	3.00	4.29
Cobre (Cu)	1.0	2.96
Cromo (Cr)	0.50	1.102
Mercurio (Hg)	0.002	14.634
Sulfato (SO_4)	1200.00	1375

UPM 13667O07

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de San Martín de Loba, no presenta vertimiento a un cuerpo de agua superficial, puesto que las colas del proceso de beneficio son trasladadas a lo largo de un canal, que cumple las características de una estructura hidráulica que utiliza la caída libre que genera turbulencia y la velocidad para la disminución de la carga contaminante y así recircular al proceso. El vertimiento arrojó resultados elevados en los parámetros de solidos suspendidos totales, mercurio y sulfato. No se evidencia la presencia de un cuerpo de agua superficial cercano que se pueda ver afectado por las concentraciones.

Tabla 124. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O07

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	578
Mercurio (Hg)	0.002	7.317
Sulfato (SO_4)	1200.00	2012.5

La calidad del agua de la cuenca media del Magdalena es afectada por la actividad minera del distrito minero de San Martín de Loba en época de lluvia, donde las quebradas se convierten en tributantes del brazo de Papayal. Estos aportes pueden influir en los cambios químicos de los cuerpos receptores que reciben las descargas de aguas de mina tratadas y no tratadas, escurrimiento e infiltraciones de los procesos de beneficio de las UPM.

Al momento de la visita de campo, los cuerpos receptores quebrada La Danta, Azulita y Arenoso, al igual que el canal El Puerto, se encontraban sin caudal líquido, indicando infiltración de las descargas de las UPM asociadas. Por esta razón no resultó posible conocer las calidades aguas arriba y aguas debajo de los puntos de vertimiento.

La actividad minera genera posibles impactos significativos en el uso y contaminación del agua de la cuenca media del Magdalena:

- Disminución de la calidad de agua de la cuenca. La contaminación de las quebradas que sirven de fuente de abastecimiento hídrico para consumo humano, actividad agrícola y pecuaria.

- Disminución de la disponibilidad del recurso hídrico debido a la extracción de agua superficial y subterránea, que se convierte en agua de uso, que al ser devuelta a la fuente podría perder la posibilidad de ser utilizada para otros fines debido a los contaminantes aportados.

b. Cuenca hidrográfica baja magdalena

La **UPM 13300O09** ubicada en el municipio de Hatillo de Loba, pertenece a la cuenca hidrográfica del bajo Magdalena, en la unidad biogeográfica de la provincia Choco-Magdalena[131], correspondiente a la hidrogeología del valle inferior del Magdalena[132]. En la cuenca baja del río Magdalena se presentan zonas de amortiguación, inundables en épocas de lluvia, como lo son los Brazos Victoria y Mompos y las ciénagas El Palmar y Palenquillo.[133]

[131] IGAC (2008). Instituto Alexander Von Humbolt.
[132] IDEAM (2002). Instituto Hidrología, Meteorología, Estudios Ambientales.
[133] IDEAM (2010). Estudio Nacional del Agua ENA 2010.

Este proyecto minero no realiza vertimiento a un cuerpo de agua superficial, puesto que las colas del proceso de beneficio son depositadas en pozas de sedimentación, donde el efluente se infiltra.

Los efluentes analizados mostraron niveles superiores a los límites máximos permisibles (LMP) en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales provenientes de actividad minera establecidos en la Resolución 631 de 2015, para los parámetros de solidos suspendidos totales y mercurio. No se evidencia la presencia de un cuerpo de agua superficial cercano que se vea impactado por las actividades de la UPM.

Tabla 125. Resultados Fisicoquímicos UPM 13030O09

Parámetros	LMP establecidos en la Resolución 631 de 2015 (mg/l)	Resultados de calidad de Agua (mg/l)
Solidos suspendidos Totales (SST)	50.00	367
Mercurio (Hg)	0.002	5.122

8.1.1.3. Distrito minero del Tambo (Cauca)

El cuerpo de agua receptor de los vertimientos de las UPM estudiadas en los municipios de Buenos Aires, Suárez y el Tambo corresponde a corrientes hídricas de la cuenca alta del río Cauca cuyas características fisicoquímicas están siendo alteradas por dichas descargas. Actualmente el Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica del alto río Cauca (POMCA) se encuentra en elaboración por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), por lo cual aún no se cuenta con metas de reducción de carga contaminante ni con parámetros de calidad para estos cuerpos receptores.

Adicionalmente se visitó una UPM en el municipio de Rosas que tiene por cuerpo de agua receptor la quebrada Jigua perteneciente a la cuenca del río Patía, la cual presenta cargas contaminantes que pasan los límites máximos permisibles establecidos en Resolución 631 de 2015. La cuenca del río Patía no tiene un Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca, por lo tanto no se establecen los parámetros de calidad y las metas de reducción de carga contaminante, debe ser responsabilidad de las autoridades ambientales competentes estableces estos requerimientos.

De esta manera las UPM visitadas pertenecen a las cuenca alta del río Cauca y Patía, como se muestras en la siguiente tabla.

Tabla 126. Vertimiento y cuencas pertenecientes a las UPM

UPM	Vertimiento	Cuenca a la que pertenece

19780O01	Quebrada el Peñón	Alta rio Cauca
19780O02	Embalse la Salvajina	
19110O03	Rio Teta	
19110O04	Rio Teta	
19110O05	Rio Teta	
19256O06	Relavera (Qda aguas claras)	
19256O07	Relavera (Qda aguas claras)	
19256O08	Relavera (Qda aguas claras)	
19256O09	Suelo (Quebrada aguas claras)	
19622O10	Suelo (Quebrada Jigua)	Rio Patía

Según las corporaciones autónomas regionales del Cauca –CRC y del Valle –CVC, las aguas del río Cauca son utilizadas principalmente para (Conpes, 2009[134]):

- Abastecimiento humano y recreación
- Actividad agropecuaria, en especial riego para la caña de azúcar y otros cultivos semestrales.
- Minería, principalmente explotación de materiales de arrastre,
- Navegación de bajo calado.
- Recepción de vertimientos generados en las distintas actividades económicas y domésticas de los alcantarillados de la mayoría de los municipios vecinos a su cauce (Popayán y Cali los principales) y de las industrias establecidas en el norte del departamento del Cauca, cobijadas bajo la ley Páez y el corredor industrial Jamundí – Cali – Yumbo.

Con base en los muestreos se pudo confirmar que las principales cargas contaminantes de las UPM del departamento de Cauca, son las descargas de agua con concentraciones altas de mercurio y hierro, y en menores concentraciones pero no menos importantes, cobre, plomo y arsénico en una de las UPM. Igualmente se encuentran características físicas alteradas asociadas a sólidos suspendidos totales (SST).

[134] Concejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). Programa para el Saneamiento, Manejo y Recuperación Ambiental de la Cuenca Alta del Río Cauca. 2009.

UPM 19780O01

Esta unidad minera, ubicada en el municipio de Suárez, realiza sus descargas a la quebrada El Peñón perteneciente a la cuenca del río Cauca.

Además del uso para minería (industrial) de este cuerpo receptor no se desconocen puesto que no se encuentra estipulado en ningún documento. De acuerdo a los resultados fisicoquímicos se observa que en esta UPM se tienen valores superiores a los límites permisibles estipulados en el artículo 10 de la Resolución 631 de 2015, tal es el caso de las altas concentraciones de mercurio y hierro con valores de 0,183 mg/l y 3,48 mg/l respectivamente y sólidos suspendidos totales de 1647 mg/l. Además se debe tener en cuenta el vertimiento realizado de 259,2 m^3/mes.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, los impactos causantes del vertimiento al cuerpo receptor se deben a los cambios fisicoquímicos agregados, principalmente a los altos contenidos de sólidos suspendidos totales y metales pesados.

UPM 19780O02

Esta unidad de producción minera está ubicada en el municipio de Suárez y vierte sus aguas del proceso de beneficio en el embalse la Salvajina (perteneciente a la cuenca alta del río Cauca).

Los parámetros de calidad definidos para este cuerpo receptor están relacionados con el artículo 10 de la Resolución 631 de 2015, los cuales “establecen los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería”.

El aporte realizado por el vertimiento sobre el embalse presenta características fisicoquímicas las cuales alteran al cuerpo de agua receptor, como son los metales de hierro (30,22 mg/l) y mercurio (0,549 mg/l) con valores significativamente altos en el vertimiento que conduce al embalse, debido a que los límites máximos permisibles para hierro es de 2 mg/l y para mercurio es de 0,002 mg/l.

Los impactos agregados por el vertido de agua sobre el cuerpo receptor obedecen los cambios fisicoquímicos generados por los procesos realizados para la producción de oro, además presentan altos contenidos de sólidos totales con valores de 9872 mg/l siendo el límite máximo permisible de 50 mg/l.

UPM 19110O03, UPM 19110O04 y UPM 19110O05

La UPM 19110O03 está ubicada en el municipio de Buenos Aires y vierte un volumen mensual de 3294 m^3/mes a una relavera y esta a su vez vierte sobre el río Teta.

Al igual que la anterior, esta unidad se encuentra ubicada en el municipio de Buenos Aires y vierte un volumen mensual de 2890 m^3 /mes a una relavera que esta a su vez vierte al río Teta.

Los resultados fisicoquímicos de las UPM 19110O03, 19110O04 y 19110O05 que vierten sus descargas al río Teta, el cual es uno de los afluentes del río Cauca en su cuenca alta en el municipio de Buenos Aires del departamento de Cauca, se observa el uso industrial, específicamente minero y las altas concentraciones de metales como arsénico, hierro, cobre y mercurio en diferentes tramos estudiados, debido al beneficio del oro.

Adicionalmente los valores de los resultados fisicoquímicos del muestreo de vertimientos establecen mayores concentraciones de mercurio y hierro que las del río Teta. Igualmente los sólidos suspendidos totales muestra valores de 80 mg/l aguas abajo del río Teta.

Los impactos agregados por el vertimiento de las UPM establecidas en el cuerpo receptor de obedecen a cambios en la calidad fisicoquímica del agua por los sólidos suspendidos y las concentraciones de metales mencionados anteriormente.

UPM 19256O06

El agua utilizada en el proceso de beneficio de esta unidad de producción minera es vertida en una relavera y según los entrevistados no vierte en un cuerpo de agua receptor, sin embargo cabe anotar que existe un cuerpo de agua (quebrada Aguas Claras) cercano que puede estar siendo afectado con concentraciones de metales y sólidos suspendidos. El uso evidenciado para este cuerpo receptor es industrial (minero).

En esta zona se presentó un pH de 8 y sólidos suspendidos totales con valores de 216 mg/l aguas abajo de la quebrada Aguas Claras; igualmente presenta altas concentraciones de metales como mercurio con valores de 0,109 mg/l y hierro de 2,41 mg/l aguas abajo de la quebrada Aguas Claras y plomo 637,83 mg/l agua arriba de esta misma corriente.

Los impactos agregados por el vertido de las aguas sobre el cuerpo receptor son causados por la calidad fisicoquímica del agua, y por los aportes de sólidos suspendidos y metales pesados; además se debe tener en cuenta que el agua del cuerpo receptor llega a la UPM con valores significativamente altos, por lo tanto al adicionar su vertimiento se incrementan estas concentraciones.

UPM 19256O07

El agua utilizada en el proceso de beneficio de esta unidad de producción minera del municipio del Tambo, es vertida en una relavera y posteriormente a la quebrada Aguas Claras. El uso de este cuerpo receptor se evidencia que es industrial (minero). La UPM, objeto de este análisis, aporta sólidos suspendidos totales con valores de 75 mg/l, de esta manera se aumentan los valores límites permisibles descritos en la Resolución 631 de 2015, igualmente presenta altas concentraciones de mercurio (0,105 mg/l) y hierro (2,40 mg/l).

Los impactos agregados por el vertido de las aguas sobre el cuerpo receptor son causados sobre la calidad fisicoquímica del agua por los aportes de sólidos suspendidos y metales pesados.

UPM 19256O08

Igualmente que la UPM 19256O07, el agua utilizada en el proceso de beneficio de esta unidad de producción minera del municipio del Tambo, es vertida en una relavera, que a su vez vierte a la quebrada Aguas Claras, cuyo uso es industrial (minero) según los resultados fisicoquímicos obtenidos.

Esta UPM aporta sólidos suspendidos totales con valores de 436 mg/l e igualmente presenta altas concentraciones de metales como mercurio (0,732 mg/l), hierro (18,91 mg/l) y plomo (809,13 mg/l).

Los impactos agregados por el vertido de las aguas sobre el cuerpo receptor afectan la calidad fisicoquímica del agua, por los aportes de sólidos suspendidos y metales pesados presentes en el proceso de beneficio de oro.

UPM 19256O09

Está localizada en el municipio del Tambo y actualmente realiza el vertimiento sobre el suelo. El drenaje de la zona de vertido y la línea de flujo del agua vertida señala escurrimiento sobre el cuerpo receptor Aguas Claras, afluente del Cauca.

El vertimiento de esta UPM lleva hierro (22,95 mg/l), plomo (6180,27 mg/l), zinc (4,01 mg/l), cobre (4,92 mg/l) y mercurio (3,933 mg/l) con valores mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015. Además las concentraciones de los sólidos suspendidos totales son concentraciones bastante elevadas con un valor de 8935 mg/l.

La calidad fisicoquímica y la biodisponibilidad del cuerpo receptor se ven impactadas por las concentraciones altas de metales pesados y los sólidos suspendidos totales del vertimiento minero.

UPM 19622O10

La unidad de producción minera 19622O10, ubicada en el municipio de Rosas del departamento de Cauca, vierte las aguas generadas por la producción de oro sobre relaveras carentes de sistema de vertimiento, por lo tanto se observa que en casos de desbordamiento el flujo de agua es dirigido hacia la quebrada Jigua.

Las características fisicoquímicas demuestran que existen concentraciones de mercurio de 0,002 mg/l ubicadas en el límite máximo permisible mientras que sólidos suspendidos totales muestran altas concentraciones aguas abajo. Adicionalmente los valores de los sólidos suspendidos totales son de 119 mg/l elevando así el valor máximo permisible de 50 mg/l indicado por la Resolución 631 de 2015.

Los impactos sobre el cuerpo receptor obedecen a cambios fisicoquímicos por la presencia de vertimientos de la UPM o varias de ellas que se sitúan cercanas a esta quebrada.

8.1.1.4. Distrito minero de Marmato (Caldas)

Las UPM visitadas en los municipios de Marmato y Riosucio en el departamento de Caldas disponen sus vertimientos de manera diferente, seis de las 10 UPM estudiadas lo dirigen hacia quebradas (microcuencas), las restantes los orientan de la siguiente manera:

- Las UPM 17442O01 y 17442O05 recirculan gran parte del agua de su vertimiento para ser nuevamente utilizada en su proceso de beneficio y dirige lo restante a otra UPM para su aprovechamiento.

- La UPM 17442O04 dirige su vertimiento a pozos artesanales de sedimentación para extraer las arenas y recircular el agua al tanque de abastecimiento principal para posteriormente utilizarla en el proceso

- La UPM 17442O09 vierte directamente al suelo

Para las UPM que realizan el vertimiento directamente a un cuerpo de agua se tendrá en cuenta lo establecido en el Artículo 10 de la Resolución 631 de 2015 **“**Artículo 10. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los

vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARND a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.”

UPM 17442O02

En esta unidad, el agua utilizada durante el beneficio minero es conducida hacia un pozo de sedimentación artesanal para la extracción de las arenas y posteriormente se utiliza en el proceso de cianuración. De esta forma, una parte del agua, no cuantificada, se recircula para procesos mineros y la otra se vierte en la quebrada La Llorona afluente del río Cauca.

Tabla 127. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O02

Parámetro	Unidades	Límite de la norma (RES 631 de 2015)	Vertimiento	Aguas arriba Quebrada La llorona
SSED	mg/L	2,00	3,2	3,8
As	mg/L	0,10	0,0263	1,4014
Cd	mg/L	0,05	0,2638	0,2530
Fe	mg/L	2,00	10,8450	242,3870
Pb	mg/L	0,20	0,0501	4,0840
Zn	mg/L	3,00	1,86	4,72
Ni	mg/L	0,50	<L.D	0,52
Cu	mg/L	1,00	0,1	7,3
Hg	mg/L	0,002	0,0012	0,0073
SST	mg/L	50,00	89	6390
S-	mg/L	1,00	1,2	1,6

Como observamos en la tabla solo cinco parámetros sobrepasan los límites permisibles de la norma; sin embargo, algunos de los encontrados en la quebrada la Llorona son mayores a estos límites. Por lo anterior, se puede decir que existe un impacto agregado no significativo debido a los vertimientos mineros sobre el cuerpo de agua receptor correspondiente al incremento en las concentraciones de hierro, cadmio, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales.

UPM 17442O03

La UPM 17442O03 se encuentra ubicada en el municipio de Marmato, el agua utilizada en su proceso de beneficio del mineral es almacenada en un pozo de sedimentación artesanal para extraer las arenas para el proceso de cianuración, el vertimiento se conduce a la quebrada San Jorge perteneciente a la cuenca del río Cauca.

Tabla 128. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O03

Parámetro	unidades	Límite de la norma (RES 631 de 2015)	vertimiento	Aguas arriba Quebrada San Jorge
SSED	mg/L	2,00	3,2	1,1
As	mg/L	0,10	0,6054	0,3509
Cd	mg/L	0,05	0,7920	0,0900
Fe	mg/L	2,00	312,8560	70,0290
Pb	mg/L	0,20	0,8990	1,8920
Zn	mg/L	3,00	7,49	7,49
Cu	mg/L	1,00	2,4	0,7
Hg	mg/L	0,002	0,1720	0,0159
SST	mg/L	50,00	12360	4340
SO4	mg/L	1200,00	1800	160
S-	mg/L	1,00	1,2	2

Como se observa, las características del vertimiento sobre la quebrada San José no cumplen los límites permisibles según la norma, por esta razón el impacto agregado se relaciona con aumento de las concentraciones de metales especialmente de Fe, As, Cd, Fe, Pb, Cu y Hg, así como el aumento de las sólidos suspendidos totales.

UPM 17614O06

La UPM 17614O06 se encuentra ubicada en el municipio de Riosucio, el agua utilizada en su proceso de beneficio del mineral es almacenada en un pozo de sedimentación artesanal para extraer las arenas que son reprocesadas en Marmato en procesos de cianuración. Un porcentaje del agua es recirculada y la restante vertida a la quebrada San Sebastián en la cuenca de río Cauca.

Tabla 129. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O06

parámetro	Unidades	límite de la norma (RES 631 de 2015)	Aguas arriba Q. san Sebastián	Vertimiento	Aguas abajo Q. san Sebastián

SSED	mg/L	2,00	190	200	550
DQO	mg/L	150,00	95,72	381,26	300,14
As	mg/L	0,10	0,0000	0,0328	0,0196
Cd	mg/L	0,05	0,0004	0,0093	0,0012
Fe	mg/L	2,00	0,0200	5,8940	5,6980
Hg	mg/L	0,002	<L.D	0,0387	0,0354
SST	mg/L	50,00	17655	24680	18390

El aumento en la concentración de los sólidos suspendidos totales, de la DQO, y de los metales As, Cd, Fe y Hg aguas abajo de los vertimientos en la quebrada San Sebastián, muestran el impacto agregado que está causando este vertimiento al cuerpo de agua receptor, por lo cual es necesario implementar mecanismos de tratamiento para que este vertimiento se encuentre dentro de los límites permisibles que contempla la norma ara la minería y así no continúe disminuyendo la calidad de estas aguas.

UPM 17614O07

La UPM 17614O07 se encuentra ubicada en el municipio de Riosucio, el agua utilizada en su proceso de beneficio del mineral es almacenada en un pozo de sedimentación artesanal para extraer las arenas que posteriormente son llevadas a Marmato para procesos de cianuración; el agua es vertida a la quebrada San Sebastián de la cuenca del río Cauca.

Tabla 130. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O07

parámetro	unidades	límite de la norma	Aguas arriba Q. san Sebastián	Vertimiento	Aguas abajo Q. san Sebastián
Fe	mg/L	2,00	3,0800	1,9510	7,0870
Hg	mg/L	0,002	0,0085	0,0134	0,0659
SST	mg/L	50,00	1830	460	4615

Dentro de los impactos agregados que están ocasionando este vertimiento sobre la Quebrada San Sebastián es el aumento de las concentraciones de Mercurio y hierro, así como los sólidos suspendidos totales dentro de este cuerpo de agua. Sin embargo, como se observa en la tabla está quebrada ya contiene altas concentraciones que sobrepasan los límites permisibles admitidos en la norma para los vertimientos, demostrando que ya está quebrada se encuentra con condiciones de afectación previa.

UPM 17442O08

En esta unidad, perteneciente al municipio de Marmato, el agua utilizada en el proceso de beneficio del mineral es almacenada en un pozo de sedimentación artesanal para extraer las arenas para el proceso de cianuración; un porcentaje del vertimiento es dirigido a otra UPM para su aprovechamiento y el restante se conduce a la quebrada Pantanos correspondiente a la cuenca del río Cauca.

Tabla 131. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17442O08

Parámetro	unidades	límite de la norma	Vertimiento	Aguas abajo Quebrada pantano
As	mg/L	0,10	0,0676	1,3613
Cd	mg/L	0,05	0,8710	2,9700
Fe	mg/L	2,00	16,5720	216,0650
Pb	mg/L	0,20	1,4310	2,6640
Zn	mg/L	3,00	8,25	8,78
Cu	mg/L	1,00	0,6	5,2
Hg	mg/L	0,002	0,0037	0,0671
SST	mg/L	50,00	1072	28025

Es este caso se cuenta con datos de la calidad del agua aguas arriba, no obstante se puede observar en la tabla que los metales Cd, Fe, Pb, Zn y Hg exceden los límites permisibles estipulados en la norma, así como los SST. Aunque el impacto de esta UPM sobre la quebrada Pantanos se considera bajo, se verificaron valores superiores de As y Cu aguas abajo que indican afectación por otras fuentes.

UPM 17614O10

La UPM 17614O10 se encuentra ubicada en el municipio de Riosucio, el agua utilizada en su proceso de beneficio del mineral es almacenada en un pozo de sedimentación artesanal para extraer las arenas para el proceso de cianuración, el agua es vertida a la quebrada Cristales de la cuenca del río Cauca.

Tabla 132. Parámetros que exceden los límites permisibles en el vertimiento de la UPM 17614O10

parámetro	unidades	límite de la norma	aguas arriba Q. cristales	aguas abajo Q. cristales
Fe	mg/L	2,00	0,3820	3,8710
Hg	mg/L	0,002	0,0037	0,0268
SST	mg/L	50,00	576	1014

En esta UPM observamos, al igual que en la anterior, que aunque las concentraciones de Fe, Hg y SST sobrepasan los límites permisibles de la norma, el impacto agregado sobre la quebrada es bajo, debido a que las concentraciones halladas en la quebrada son muchos más altas que en los vertimientos.

8.1.1.5. Distrito minero de Istmina (Choco)

La contaminación generada por los proyectos mineros en choco ha tenido un impacto significativo sobre los cuerpos de agua receptores de los vertimientos originados en las minas. Las prácticas negligentes, los vertimientos de aguas cargadas y la falta de sistemas de tratamiento dentro de las unidades mineras están incrementando la contaminación de fuentes naturales de la región.

Para los dos tipos de explotaciones estudiados en la región (aluvial con retroexcavadoras y dragas), el proceso minero de mayor demanda de agua y efluentes mineros, es la actividad de clasificación. Estas aguas de mina tienen directa influencia sobre el río Quito y las quebradas negros y Agua Clara, y por lo tanto, sobre los ríos San Juan y Atrato. (Tabla 133)

Tabla 133. Cuerpos de aguas receptores por UPM visitada en el distrito minero de Istmina

UPM	Cuerpo de agua receptor- Directo	Cuenca
27205O01	Quebrada Los Negros	Rio San Juan
27491O02	Quebrada Aguas Claras	Rio San Juan
27491O03	Quebrada Aguas Claras	Rio San Juan
27600O04	Rio Quito	Rio Atrato
27600O05	Rio Quito	Rio Atrato
27600O06	Rio Quito	Rio Atrato

La red hídrica chocoana se considera de gran importancia, ya que se constituye en el más importante sistema de transporte y comunicación entre los pueblos, es el medio por donde se intercambia y comercializa la producción agropecuaria, donde se manifiesta y movilizan las expresiones culturales y espacio que provee bienes para la soberanía alimentaria y para el desarrollo de las actividades domésticas en un sin número de comunidades rurales (Ministerio de Ambiente V. y.-I., 2010).

UPM 27205O01

La UPM se encuentra ubicada en casco urbano del municipio de Condoto y vierte sus aguas sobre la quebrada Los Negros, afluente del río Condoto perteneciente a la cuenca río San Juan. Este cuerpo de agua atraviesa la cabecera municipal y sus afluentes satisfacen necesidades básicas de la comunidad; sin embargo, su uso no está definido ni se han fijado metas de reducción de carga contaminante por la autoridad ambiental.

El aporte realizado por la mina a la quebrada Los Negros presenta características fisicoquímicas acordes con los parámetros de calidad estipulados por la Resolución 0631 de 2015, exceptuando los sólidos totales y disueltos generados. (Tabla 134)

Tabla 134. Concentraciones de sólidos en los efluentes de la UPM 27205O01 a la quebrada los negros.

Descripción	ST (mg/L)	SDT (mg/L)
Límites de la Res. 0631/15	50,00	2,00
Vertimiento 27205O01	114,22	104,22

De esta forma, los impactos originados por los aportes de efluentes del proyecto minero obedecen a cambios en la calidad física del agua por la presencia de sólidos totales presentes en las aguas de mina.

UPM 27491O02

En esta unidad minera ubicada en el municipio de Novita, los efluentes procedentes del beneficio, en particular de la clasificación del material, son descargados sobre la quebrada Aguas Claras cuyos parámetros de calidad no han sido estipulados por la autoridad ambiental.

Los parámetros fisicoquímicos aportados por la UPM que se exceden la norma corresponden a metales pesados, sólidos totales e índice de turbidez que resulta muy alto. Sin embargo para el resto de parámetros fisicoquímicos establecidos los vertimientos presenta parámetros de calidad aceptables. (Tabla 135)

Tabla 135. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27491O02 y la quebrada aguas claras.

Descripción	Turbiedad	ST	SSED	Fe	Hg
	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	ug/L
Límites de la Res. 0631/15	-	50,00	2,00	2,00	0,002

Vertimiento UPM 27491O02	>1000	1805	15	11,27	<L.D
Quebrada Aguas Claras	>1000	5503	60	8,23	1829,27

En la tabla anterior, los niveles de contaminación de la quebrada Aguas Claras es superior a los reportados para la unidad minera indicando aportes de otros proyectos auríferos, como UPM 27491O03

En general se estima que impacto generado por el vertimiento de aguas de la UPM 27491O02 sobre la quebrada Agua Clara obedece a cambio en la calidad física y químicas del agua, por el alto contenido de sólidos totales, turbidez, y metales; estos últimos en menor concentración.

UPM 27491O03

Esta UPM ubicada en el municipio de Novita, al igual que la UPM anterior, vierte sus aguas de mina sobre la quebrada Aguas Claras, que cómo se indicó no cuenta con parámetros de calidad estipulados por la autoridad ambiental.

Tabla 136. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27491O03 y la quebrada aguas claras.

Descripción	Turbiedad	ST	Fe
	NTU	mg/L	mg/L
Límites de la Res. 0631/15	-	50,00	2,00
Vertimiento De UPM 27491O03	184	800,6	11,27
Quebrada Aguas Claras	>1000	5503	8,23

Los impactos originados por el vertimiento de la mina sobre el cuerpo de agua receptor obedecen principalmente a cambios en la calidad física del agua por el contenido de sólidos totales y turbiedad.

UPM 27600O04

La producción de esta unidad localizada en el municipio de Río Quito, se realiza mediante succión del lecho del río del mismo nombre. Junto con el material se succionan grandes volúmenes de agua que pasan por los procesos de clasificación, pre-concentración, concentración y amalgamación, antes de ser descargados directamente a la corriente hídrica. Los parámetros de calidad para este cuerpo de agua receptor no se encuentran definidos por la autoridad ambiental.

El aporte realizado por los efluentes mineros sobre el río Quito presentan características fisicoquímicas acordes a los parámetros de calidad estipulados por la Resolución 631 de 2015. Sin embargo la UPM aporta concentraciones de sólidos totales y turbidez que pueden generar un impacto en la calidad física de la cuenca. Adicionalmente, vierte en menor concentración metales pesados como hierro. En la Tabla 137 se muestran las concentraciones de los parámetros que exceden los límites máximos permisibles estipulados por la mencionada norma.

Tabla 137. Concentraciones de contaminantes en los efluentes de la UPM 27600O04 y la cuenca del rio quito.

Descripción	Turbiedad	ST	SSED	Fe	Hg
	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	ug/L
Límites de la Res. 0631/15	-	50,00	2,00	2,00	0,002
Vertimiento UPM 27600O04	7,36	995,8	2,4	8,19	<L.D
Rio quito	>1000	579,6	2	7,81	1829,27

En la tabla anterior se observa la cuenca del río Quito tienen niveles de contaminación más elevados que los aportes que le hace la UPM indicando efluentes de otros proyectos mineros y poblaciones que hacen uso de éste.

UPM 27600O05

Al igual que la UPM anterior, el proyecto minero se encuentra sobre el lecho del río Quito cuyos los parámetros de calidad no han sido definidos por la autoridad.

En concordancia con los aportes de la unidad minera anterior, las descargas realizadas por esta UPM sobre la cuenca del río Quito presentan características fisicoquímicas acordes a los parámetros estipulados por la Resolución 631 de 2015. Sin embargo, también aporta concentraciones de sólidos totales y turbidez y en menor cantidad concentraciones metales pesados como hierro.

Los impactos generados por esta UPM, en la misma medida que la anterior, pueden impactar el cuerpo de agua receptor en términos de calidad física.

UPM 27600O06

El comportamiento de esta UPM en términos de calidad y uso final del cuerpo de agua receptor de los vertimiento, es igual que la UPM anterior. En ella el emisario directo sobre

el que se vierte las aguas de minas es el río Quito carente de parámetros de calidad estipulados por la autoridad ambiental.

Las descargas realizadas por este proyecto minero sobre la cuenca del río Quito presentan características fisicoquímicas acordes a los parámetros de la Resolución 0631 de 2015. Sin embargo, también aporta concentraciones de sólidos totales y turbidez, así como concentraciones menores de metales pesados como hierro.

En igual medida que la anterior, los impactos generados por esta UPM sobre la cuenca del río Quito pueden generar un impacto significativo en términos de calidad física sobre el cuerpo de agua receptor.

8.1.2. Minería Carbonífera

8.1.2.1. Distrito minero de Samacá (Cundinamarca – Boyacá)

Los cuerpos receptores de los vertimientos de las aguas de mina en el distrito Zipa-Samacá son los ríos Bogotá y Sogamoso. De acuerdo a las condiciones de las descargas de las aguas de mina de las UPM visitadas, correspondientes en su totalidad a la cuenca del río Sogamoso, las características fisicoquímicas de éste último son alteradas. El Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Sogamoso se encuentra en elaboración por el Consorcio Santander Pomca Ambiental, por lo cual aún no se cuenta con los parámetros de calidad para el cuerpo receptor ni con las metas de reducción de carga contaminante.

En el distrito minero de Zipa-Samacá las UPM 15600C01 y 15646C02 son las únicas que presentaron descargas de aguas de mina con concentraciones elevadas del mercurio, por encima de los límites permisibles de la Resolución 631 de 2015. La UPM 15646C02 presentó además concentraciones elevadas de Hierro, SST y DQO. En general las unidades visitadas vierten en menor concentración metales como cadmio y plomo, cuyos valores están en el borde superior de los límites permisibles. Adicionalmente, las características físicas de las aguas de mina vertidas afecta la turbidez de los cuerpos receptores por la presencia de sólidos suspendidos.

Tabla 138. UPM con Parámetros que exceden los LMP Resolución 631 de 2015 (mg/l)

UPM	Mercurio (Hg) mg/L	Hierro (Fe) mg/L	DQO mg/L O_2	SST mg/L
Límites de la Res. 0631/15	0.002	2.00	150	50
15600C01	0,0037	-	-	-
15646C02	23,17	3,67	446,9	510

Cuando los vertimientos están por encima de los parámetros de calidad estipulados para el cuerpo receptor, el principal impacto agregado es la alteración de la calidad fisicoquímica del cuerpo receptor, lo que dificulta el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos para cada cuerpo de agua. Se deben implementar medidas en cada una de las cargas puntuales con el objetivo principal de reducir las concentraciones de contaminantes en los cuerpos receptores, ya que de acuerdo al área de drenaje de la zona, el río Sogamoso es el receptor de contaminantes en el distrito minero de Zipa-Samacá.

Tabla 139. Cuerpos Receptores y Cuenca final de drenaje de las UPM.

Departamento	UPM	Cuerpo Receptor	Cuenca Final de Drenaje
Cundinamarca	25407C04	Quebrada Cajón	Río Sogamoso
	25407C05	Quebrada Ato Viejo	
	25317C07	Quebrada Agrasal	
	25317C06	Quebrada La Toma	
	25317C08	Suelo	
	25224C01	Suelo	
	25224C02	Suelo	
	25224C03	Suelo	
	25317C09	Aprovechamiento	
Boyacá	15600C01	Quebrada La Fiera	
	15646C02	Quebrada Los Ajos	

Cundinamarca

UPM 25407C04

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de Lenguazaque y vierte sus aguas de mina a la quebrada Cajón, al momento de efectuar la visita esta corriente no presentaba caudal líquido aguas arriba de la UPM por lo cual fue posible determinar la calidad de sus aguas previa al vertimiento minero. El aporte realizado por el vertimiento de las aguas de mina sobre la quebrada presenta características fisicoquímicas acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015. Sin embargo, el vertimiento de esta UPM aporta cantidades de sólidos suspendidos totales estimadas en 3245,50 kg/mes. Adicionalmente, vierte pequeñas concentraciones de metales en el agua de mina tales como 0,0018 mg/l de plata, 0,0002 mg/l de cadmio, 0,73 mg/l de hierro y 0,0001 mg/l de plomo, acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015

Los impactos agregados por el vertido del agua de mina sobre el cuerpo receptor obedecen a cambios en la calidad física del agua, por el vertido de aguas con altos contenidos de sólidos totales. Adicionalmente, las aguas de mina están aportando al cauce del cuerpo receptor pequeñas concentraciones de metales.

UPM 25407C05

En esta unidad, ubicada en el municipio de Lenguazaque, el aporte realizado por el vertimiento de las aguas de mina sobre la quebrada Hato Viejo presenta características fisicoquímicas acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015. Al momento de efectuar la visita la quebrada no presentaba caudal líquido imposibilitando la caracterización de la calidad aguas arriba del vertimiento.

En cuanto a los impactos generados sobre el cuerpo receptor se tiene que los resultados del análisis evidencian que el vertimiento de esta UPM aporta cantidades considerables de sólidos totales estimados en 23,30 kg/mes. Adicionalmente, vierte concentraciones menores de metales tales como 0,00027 mg/l de cadmio, 0,42 mg/l de hierro y 0,00001 mg/l de plomo, acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015

UPM 25317C06

La unidad de producción minera está ubicada en el municipio de Guachetá, vierte sus aguas de mina sobre la quebrada La Toma, que a su vez alimenta a la quebrada Agrasal. Al momento de la visita a la quebrada La Toma aguas arriba del vertimiento presentaba concentraciones de metales como hierro y cadmio y sólidos totales. El vertimiento de aguas de minas por parte de esta UPM presenta características fisicoquímicas acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015.

Sin embargo el vertido de aguas de mina con concentración de 1,9 mg/l de amoniaco (NH_3) diluyó la concentración de (NH_3) en el cuerpo receptor, pasó de 2,01 mg/l de (NH_3) a 1,51 mg/l de (NH_3) y el vertido de 600 mg/l de Sulfatos (SO_4^{2-}) en el agua de mina, afectó la concentración de sulfatos en el cuerpo receptor, pasó de 127 mg/l de (SO_4^{2-}) a 227 mg/l de (SO_4^{2-}) aguas abajo, aumento la concentración en un 78%.

Dado que el agua de mina no mostró presencia de hierro, la concentración de este metal aparece diluida en el cuerpo receptor pasando de 0,33 mg/l a 0,16 mg/l aguas abajo de la descarga. Esta condición se considera un impacto positivo debido a la reducción en la concentración de este contaminante.

Adicionalmente, la DQO en la descarga fue inferior al límite de detección, en la quebrada el comportamiento en la concentración aguas arriba la DQO fue de 61,21 mg/l y por el vertido de las aguas de minas aguas, la concentración de la DQO aguas abajo fue inferior al límite de detección, por el efecto de la descarga con concentración menor que la quebrada aguas arriba.

El impacto agregado sobre el cuerpo de aguas receptor obedece a cambios en la calidad fisicoquímica del agua por el vertido de aguas con concentraciones de amoniaco y sulfatos.

UPM 25317C07

La UPM se encuentra ubicada en el municipio de Guachetá y realiza sus vertimientos del sistema de tratamiento de aguas de mina sobre el suelo. El drenaje de la zona de vertido y las líneas de flujo en el terreno señalan el escurrimiento hacia la quebrada Agrasal. Este vertimiento presenta características fisicoquímicas acordes a los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015

El vertido de aguas de mina con concentración de 2,3 mg/l de amoniaco (NH_3), no afectó en mayor medida la concentración del cuerpo receptor, debido a que aguas arriba como aguas abajo no se detectó amoniaco y el vertido de 500 mg/l de Sulfatos (SO_4^{2-}) en el agua de mina, afectó la concentración de sulfatos en el cuerpo receptor, pasó de 6 mg/l de (SO_4^{2-}) a 66 mg/l de (SO_4^{2-}) aguas abajo, lo cual evidencia un aumento en la concentración en un 1100%.

El vertido de aguas con concentraciones de 0,81 mg/l de hierro disminuyó la concentración de hierro en el cuerpo receptor mediante la dilución pasando de 1,13 mg/l aguas arriba a 1,03 mg/l aguas abajo de la descarga. De igual forma las concentraciones de plomo (Pb) pasaron de 0,002 mg/l a indetectables por el método debido a la descarga con concentraciones de 0,00001 mg/l. Lo anterior, se considera como impacto positivo debido a la reducción en carga de estos contaminantes.

Respecto al pH, las aguas de mina vertidas mostraron valores de 8,2 que impactan las condiciones del cuerpo receptor al pasar de 9,1 aguas arriba a 8,5 aguas abajo, lo cual refleja un impacto positivo por reducción del pH hacia la neutralidad.

La DQO en la descarga fue de 16,54 mg/l, aguas arriba de la UPM el cuerpo receptor con una DQO de 33,09 mg/l pasó a tener aguas abajo 14,89 mg/l, es evidente la disminución en la concentración de DQO por la descarga de las aguas de minas de la UPM, se considera como un impacto positivo agregado.

El impacto agregado sobre el cuerpo de aguas receptor obedece a cambios en la calidad fisicoquímica del agua por el vertido de aguas con concentraciones de amoniaco y sulfatos.

Vertimientos de UPM sobre cuerpos receptores diferentes a cuerpos de agua superficial

La UPM 25317C09 actualmente no realiza vertimientos de aguas sobre cuerpos de agua superficiales; las aguas de mina son aprovechadas y usadas en la humectación del carbón y el enfriamiento de los hornos de coquización, mediante tubería de conducción hasta la ubicación de la planta ubicada a 2 km de distancia.

Las UPM 25317C08, 25224C03, 25224C02 y 25224C01 vierten las aguas de mina sobre el suelo en donde el agua escurre sobre predios colindantes o es almacenada en lagunas de infiltración.

Departamento De Boyacá

UPM 15600C01

La UPM se encuentra ubicada en el municipio de Ráquira y el cuerpo receptor del vertimiento de las aguas de mina es la quebrada La Fiera.

Las características fisicoquímicas del vertimiento radican en las altas concentraciones de mercurio, por encima de los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015 y en menor concentración metales como plomo y cadmio.

El vertido de aguas de mina con concentración de 0,0037 mg/l de mercurio (Hg), afecta la concentración del cuerpo receptor el cual registró concentraciones de mercurio aguas arriba; sin embargo aguas abajo del vertimiento la concentración fue de 0,0024 mg/l. Adicionalmente, las concentraciones de plomo (Pb) aumentaron con la descarga sobre el cuerpo receptor al pasar de 0,0001 mg/l aguas arriba a 0,00035 mg/l aguas abajo debido a las condiciones de la descarga con concentración de 0,0006 mg/l de Pb.

Respecto a la concentración de hierro (Fe), el cuerpo receptor pasó de 1,45 mg/l aguas arriba a 1,20 mg/l aguas abajo debido a la concentración del vertimiento de 1,24 mg/l, causando un impacto agregado positivo sobre el cuerpo receptor.

El vertido ocasionó disminución en la concentración de DQO, pasando de 14,89 mg/l aguas arriba a 13,24 mg/l aguas abajo.

Con excepción de la concentración de mercurio, la calidad fisicoquímica del agua del cuerpo receptor registra impactos positivos asociados con la calidad del vertimiento de esta unidad minera.

UPM 15646C02

La UPM se encuentra ubicada en el municipio de Samacá y el cuerpo receptor del vertimiento de las aguas de mina es la quebrada Los Ajos. Las características fisicoquímicas del vertimiento muestran altas concentraciones de mercurio, hierro, sólidos suspendidos totales, DQO por encima de los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015.

La quebrada Los Ajos aguas arriba del vertimiento presenta concentraciones de mercurio de 4,88 mg/l y valores de 1,22 mg/l aguas abajo indicando dilusión; sin embargo el vertido de las aguas de mina indicaron una concentración de 23,17 mg/l. Adicionalmente, el vertido de aguas con concentraciones 1,51 mg/l de NH_3 no afecta considerablemente las características del cuerpo receptor puesto que tanto aguas arriba como aguas abajo del vertimiento, no se detectó amoniaco en el agua.

El vertimiento de las aguas de mina ocasiona alteraciones negativas aumentando la concentración de los siguientes parámetros, sin que su aumento exceda los parámetros y valores máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015: El cadmio pasó de 0,0010 mg/l aguas arriba a 0,0012 mg/l aguas abajo, debido a la concentración de la descarga de aguas de mina con 0,0008 mg/l de Cd. El pH pasó de 8 a 7,68 debido a las condiciones de la descarga con pH de 7,53. Aguas arriba del vertimiento la presencia de plomo (Pb) no es detectable, sin embargo con el vertimiento, cuyas concentraciones alcanzaron 0,0010 mg/l, se registró un valor de 0,0001 mg/l aguas abajo.

Adicionalmente, la DQO del vertimiento fue de 446,9 mg/l, aunque la concentración es alta el vertido de las aguas de mina no alteró las características del cuerpo receptor en referencia a la DQO, permaneciendo tanto aguas arriba como abajo del proyecto minero con DQO por debajo de los límites permisibles de vertimiento. La alta cantidad de sólidos suspendidos en el vertimiento (510 mg/l) afectó de manera negativa el cuerpo receptor, pasando de 8 mg/l aguas arriba a 12 mg/l aguas abajo.

El impacto agregado sobre el cuerpo de aguas receptor obedece a cambios en la calidad fisicoquímica del agua, por el vertido de aguas con concentraciones de mercurio, sólidos suspendidos totales, afectando de forma negativa la concentración de estos contaminantes en el agua del cuerpo receptor, es decir aumentando su biodisponibilidad.

8.1.2.2. Distrito minero de Amagá (Antioquia)

El vertimiento generado en las UPM 05809C03, 05809C01 y 05809C02, es exclusivamente el resultante de la extracción del agua de infiltración en el socavón y en, en el caso de la UPM 05809C04 es proveniente únicamente de la extracción del agua de infiltración en la operación a cielo abierto. En la Tabla 140 se describen las fuentes hídricas receptoras de los vertimientos generados por cada UPM.

Tabla 140. Fuentes hídricas receptoras por unidad de producción minera en el distrito de Amagá

Unidad de producción minera	Fuente hídrica receptora de vertimientos
05809C01	Quebrada La Sucia
05809C02	
05809C03	Quebrada la Mica
05809C04	Quebrada La Zarzala

Las **UPM 05809C01 y 05809C02**, vierten sus aguas de mina sobre la quebrada La Sucia; esta pertenece a la cuenca hidrográfica del río Cauca siendo uno de los principales afluentes ubicados en el municipio de Titiribí[135]. En la Tabla 141 se observa una comparación entre los parámetros establecidos por la Resolución 0631 de 2015 y las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos hallados en los vertimientos que realizan las UPM 05809C01 y 05809C02, y se describen las características de la quebrada La Sucia aguas antes y después de los vertimientos mineros.

Tabla 141. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en los vertimientos y el cuerpo de agua receptor de las UPM 05809C01 y 05809C02

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible (RES 631 de 2015)	Vertimiento		Cuerpo de agua receptor- Quebrada La Sucia	
			UPM 05809C01	UPM 05809C02	Aguas arriba	Aguas abajo
DQO	mg/L O_2	150,00	200,47	164,32	<LC(9,3)	134,74

[135] ALCALDÍA MUNICIPAL DE TITIRIBÍ-ANTIOQUIA (1999). Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal. Recuperado el 02 del 12 de 2015 de http://www.titiribi-antioquia.gov.co/apc-aa-files/30623536353338393034353731336438/Plan_de_Ordenamiento.pdf.

SST	mg/L	50,00	666	906	<LDM(6)	30
SSED	mg/L	2,00	3,5	2,5	<0,1	<0,1

Como se observa en la tabla anterior, los vertimientos generados por la UPM realizan un aporte considerable de sólidos suspendidos totales y DQO al cuerpo de agua receptor con concentraciones que sobrepasan los límites permisibles, evidenciado en el aumento de los niveles de dichos parámetros aguas abajo, lo que sugiere un impacto agregado al cuerpo de agua.

Aunque los efluentes muestran concentraciones de los sólidos sedimentables superiores a las permisibles estos no representan aportes significativos al cuerpo receptor donde no se evidencia alteración.

Los vertimientos no mostraron niveles altos de metales pesados como arsénico y cadmio, cumpliendo con los límites máximos exigidos. Sin embargo se presenta un incremento del cadmio en la quebrada frente a sus concentraciones aguas arriba pasando de 0,00017 mg/l a 0,00053 mg/l aguas abajo debido al aporte de las UPM 05809C01 y 05809C02, 0,00052 mg/l y 0,00045 mg/l respectivamente.
Con base a lo anterior, el impacto agregado al cuerpo de agua receptor está asociado al aumento de las concentraciones de DQO, sólidos suspendidos totales y el incremento de los niveles de cadmio en el recurso hídrico por el vertido de las aguas de mina por parte de las UPM 05809C01 y 05809C02.

La UPM 05809C03, descarga sus aguas de mina en la quebrada La Mica correspondiente a la cuenca del río Amagá. En la Tabla 142 se observa una comparación entre los parámetros establecidos por la Resolución 0631 e 2015 y las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos hallados en el vertimiento de esta UPM y se describen las características fisicoquímicas del cuerpo receptor aguas arriba y aguas abajo.

Tabla 142. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el vertimiento y el cuerpo de agua receptor de la UPM 05809C03

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible (RES 631 de 2015)	Vertimiento	Cuerpo de agua receptor- Quebrada La Sucia	
				Aguas arriba	Aguas abajo
pH	Unidades de pH	6,00 - 9,00	8,31	8,37	8,26
DQO	mg/L O_2	150,00	138,03	<LC(9,3)	<LC(9,3)
SST	mg/L	50,00	212	<LDM(6)	14
SSED	mg/L	2,00	0,3	<0,1	<0,1
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	<LMD(2)	<LDM(2)	<LDM(2)
As	mg/L	0,10	<LD	<LD	<LD

Cd	mg/L	0,05	0,00064	0,00024	0,00032
Pb	mg/L	0,20	0,00282	0,00189	0,00211
Hg	mg/L	0,002	<LD	<LD	<LD
Cl-	mg/L	500,00	4,9	<LDM(3,15)	<LDM(3,15)

Tal como se observa en la tabla anterior, el vertimiento generado por la UPM realiza un aporte importante de sólidos suspendidos totales al cuerpo de agua receptor a una concentración que sobrepasan los límites permisibles, esto se evidencia en el aumento de los niveles de dicho parámetro aguas abajo de la quebrada receptora (<LDM(6)) con respecto a los niveles que contiene aguas arriba (14 mg/l) sugiriendo un impacto agregado al cuerpo de agua.

Los niveles de metales pesados como arsénico y cadmio no sobrepasan los límites máximos permisibles; sin embargo se presenta un incremento de los metales pesados cadmio y plomo en la fuente hídrica receptora en relación a las concentraciones aguas arriba pasando de 0,00024 mg/l a 0,00032 mg/l aguas abajo para el cadmio y de 0,00189 mg/l a 0,00211 mg/l aguas abajo para el plomo, debido al aporte de que agrega el vertimiento de la UPM (0,00064 mg/l Cd y 0,00282 mg/l Pb).
Con base a lo anterior el impacto agregado al cuerpo de agua receptor está asociado al aumento de la concentración de sólidos suspendidos totales y el incremento de los niveles de cadmio y plomo en el recurso hídrico por el vertido de las aguas de mina por parte de la UPM 05809C03.

La UPM 05809C04, tiene como fuente hídrica receptora de sus vertimientos a la quebrada La Zarzala, un afluente principal del río Amagá[136].

El vertimiento generado por la UPM posee todos los parámetros estudiados bajo los límites máximos permisibles exigidos por la Resolución 0631 para minería de carbón. De este modo, dadas las características fisicoquímicas de los vertimientos no se evidencia un impacto agregado inmediato por la descarga de las aguas de mina por parte de la unidad minera.

[136] ALCALDÍA MUNICIPAL DE TITIRIBÍ-ANTIOQUIA (1999). Op. Cit.

9. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS, SUELOS, SEDIMENTOS, AIRE Y BIOTA EN LAS ZONAS MINERAS AURÍFERAS

9.1. CONCENTRACIONES DE MERCURIO

En la Tabla 143, se muestran los resultados consolidados de las concentraciones de mercurio en aire, aguas, sedimentos, suelos y biota (cultivos), para las muestras tomadas en el departamento de Bolívar (Hatillo de Loba, San Martin de Loba y Barranco de Loba) y en el departamento del Cauca (Buenos Aires y Suarez). Los resultados muestran que las mayores concentraciones encontradas fueron en los suelos, sedimentos y aguas aledaños a los sitios mineros y/o entables donde se hace el proceso de recuperación de oro. Similarmente, las mayores concentraciones de mercurio en aíre y agua lluvia, fueron encontradas en las proximidades de los sitios de procesamiento del mineral aurífero. En cultivos (arroz), básicamente las concentraciones están dadas en función de la proximidad a los sitios de procesamiento del mineral, pero están influenciadas por la cantidad del mercurio utilizado en la zona. Igualmente se presentan las concentraciones en peces, siendo mayores en especies carnívoras (bagre pintao y blanquillo) en comparación con las no carnívoras, evidenciando la presencia de mercurio y metilmercurio el organismos del medio acuático. En un estudio previo se encontró que en el departamento de Bolívar se utiliza mayor volumen de mercurio que en el departamento del Cauca (UPME y Ministerio de Minas, 2014), lo que potencialmente explica mayores afectaciones en Bolívar que en el departamento del Cauca.

Tabla 143. Concentraciones de mercurio en compartimientos ambientales de las zonas priorizadas en los departamentos de Bolívar y Cauca. Las unidades de las concentraciones están dadas en la tabla.

DEPARTAMENTO	TIPO DE MUESTRA, Unidades	Descripción	PROMEDIO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
BOLIVAR	Suelo, µg/kg	Mina o entable	33223,1	329,5	307989,1
BOLIVAR	Suelo, µg/kg	Cultivo o agrícola	845,1	26,7	7723,3
BOLIVAR	Sedimento, µg/kg	Cuerpos de Agua	9045,1	31,6	37797,2
BOLIVAR	Sedimento, µg/kg	Descarga Mina	22277,4	1054,4	75832,9
BOLIVAR	Agua, µg/L	Descarga de Mina	3685,7	10,9	16097,6
BOLIVAR	Agua, µg/L	Cuerpo de Agua	115,10	2,44	823,2
BOLIVAR	Agua, µg/L	Lluvia	9,28	<0,14	34,2
BOLIVAR	Atmosférica, ng/m3	Aire	363.4	0,14	82255,9
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz -Raíz	845,7	59,8	2375,9
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Tallo	14,6	8,38	24,5
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Hoja	125,0	1,30	364,5
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Granos	36,3	20,6	52,4
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces-Bocachico	38,9 (33,5)*	15,3 (14,8)*	109,0 (97,5)*
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces-Bagre pintao	602,9 (521,3)*	456,8 (417,6)*	2354,7 (2098,3)*
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces- Blanquillo	467,3 (401,2)*	224,4 (198,6)*	1459,3 (1316,9)*
CAUCA	Suelo, µg/kg	Mina o entable	14431,5	150,5	110763,6
CAUCA	Suelo, µg/kg	Cultivo o agrícola	461,14	71,1	3363,7
CAUCA	Sedimento, µg/kg	Cuerpos de Agua	11543,2	94,3	43890,7
CAUCA	Sedimento, µg/kg	Descarga Mina	27535,7	1224,4	115772,6
CAUCA	Agua, µg/L	Descarga de Mina	1270,2	39,1	3932,9
CAUCA	Agua, µg/L	Cuerpo de Agua	31,97	<0,14	123,2
CAUCA	Agua, µg/L	Lluvia	2,12	<0,14	6,72
CAUCA	Atmosférica, ng/m3	Aire	166,0	0,11	85051,7
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz -Raíz	336,0	53,2	835,3
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Tallo	44,0	25,1	81,4
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Hoja	64,5	3,2	113,0
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Granos	28,0	8,1	41,3

*Valores en paréntesis son las concentraciones de metilmercurio (MeHg).

En las Tabla 144 y Tabla 145, se muestran los resultados de metilmercurio (MeHg) en suelos y sedimentos de las zonas priorizadas. Aunque los %MeHg son menores al 1%, indica que el mercurio inorgánico y/o metálico que se genera en el proceso minero sufre un proceso de metilación una vez es liberado a los suelos y sedimentos, siendo mayor esta metilación en suelos y sedimentos lejos de los sitios mineros.

Tabla 144. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento de Bolívar.

SUELO DE MINA O ENTABLE (n=15)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
5,78	301,91	34,53	329,48	329,48	329,48	0,03	3,18	0,70
SEDIMENTOS DESCARGAS MINERÍA (n=16)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
3,59	81,29	19,93	677,37	210165,37	35316,92	0,03	1,19	0,30
SEDIMENTOS AGUA NATURAL (n=11)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,54	30,46	11,99	31,60	84400,17	10950,79	0,02	8,73	2,37
SUELO AGRÍCOLA (n=20)								
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,53	38,68	7,49	44,12	61911,48	2974,11	0,04	11,15	2,67

Tabla 145. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento del Cauca.

SUELO DE MINA O ENTABLE (n=15)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
6,03	19,62	11,81	79,34	19736,25	4092,71	0,07	13,44	4,90
SEDIMENTOS DESCARGAS MINERÍA (n=16)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
6,80	171,48	39,83	374,49	115772,63	22775,27	0,02	1,85	0,46
SEDIMENTOS AGUA NATURAL (n=4)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
5,74	75,25	40,50	433,37	37368,91	18901,14	0,20	1,33	0,76
SUELO AGRÍCOLA (n=22)								
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,48	50,12	9,94	71,65	1500,38	277,16	0,41	38,6	5,52

9.2. BIODISPONIBILIDAD Y LAS FASES GEOQUÍMICAS DEL MERCURIO

En la Tabla 146, se muestran los resultados de la biodisponibilidad o fase intercambiable (cloruros e hidróxidos de mercurio fácilmente solubles) y las otras fracciones o fases geoquímicas en la cual se encuentra enlazado el Hg en los suelos y sedimentos. Para ello de aplico el procedimiento de extracción secuencial de Bloom et al. (2003), para establecer la biodisponibilidad o fase intercambiable, la fase enlazada a la materia orgánica, la fase de Hg elemental y asociada a óxidos de hierro y manganeso, y la fase residual o en forma de sulfuros. Para lo anterior, se tomaron suelos y sedimentos de minas y/o entables, y suelos agrícolas y sedimentos colectados lejos de los sitios de procesamiento del mineral, en los departamentos de Bolívar y Cauca (Tabla 146).

Tabla 146. Fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos de las áreas estudiadas.

LUGAR	MUESTRA	TOTAL ng/g	BIODISPONIBLE ng/g (%)	ORGANICA ng/g (%)	ELEMENTAL ng/g (%)	RESIDUAL O SULFURO ng/g (%)
Bolívar	Suelo de mina o entable	25672,3	205,4 (0.8)	2130,1 (8.3)	13375,3 (52.1)	9832,5 (38.3)
Bolívar	Sedimento de mina o entable	1054,4	126,5 (1.2)	140,2 (13.3)	593,62 (56.3)	3142,2 (29.8)
Bolívar	suelo agrícola	222,6	934,9 (4.2)	102,6 (46.1)	49,8 (22.0)	62,1 (27.6)
Bolívar	Sedimentos cuerpos de agua	261,9	185,95 (7.1)	131,5 (50.2)	65,7 (25.1)	44, 8 (17.1)
Cauca	Suelo de mina o entable	1172,9	832,76 (0.71)	144,3 (12.3)	578,2 (49.3)	444,5 (37.9)
Cauca	Sedimento de mina o entable	1224,4	122,4 (1.0)	198,6 (16.2)	628,11 (51.3)	389,4 (31.8)
Cauca	suelo agrícola	245,2	8,82 (3.6)	123,1 (50.2)	57,7 (23.5)	56,2 (22.9)
Cauca	Sedimentos cuerpos de agua	12023,8	9859,5 (8.2)	6132,3 (51,0)	3282, 5 (27.3)	1659,3 (13.8)

10. CONCLUSIONES

Los procesos extractivos llevados a cabo en las UPM, de las regiones evaluadas, presentan variaciones sustanciales en el comportamiento del consumo y uso del recurso hídrico proveniente de los cuerpos de aguas ubicados en su área de influencia. Estas variaciones están asociados a la técnica, metodología, época del año, comportamiento anual de lluvias, región y oferta del recurso hídrico en las zonas donde operan las UPM,

Debe distinguirse que los módulos de consumo hídrico, en minería aurífera, obedecen a la interacción entre la paragénesis y la tecnología disponible. Es así como las unidades productivas con módulos bajos no necesariamente sentarán la línea base para la mejora continua de aquellas con valores altos y por lo tanto deben considerarse más como referencia genérica (Golder Associates Africa, 2014 pág. 5).

En lo que respecta a la demanda de recurso hídrico en las UPM del distrito minero de carbón, ésta está representada principalmente por el abastecimiento del recurso para satisfacer las necesidades domesticas del personal que labora en las minas, en el proceso de extracción no se demanda recurso hídrico, paradójicamente para continuar con las labores extractivas se deben evacuar las aguas depositadas en el fondo de los socavones.

Los vertimientos de las UPM del departamento de Cauca son variados de acuerdo a los volúmenes enviados a los cuerpos de agua, también manifiestan alteraciones de las características fisicoquímicas como por ejemplo de los sólidos suspendidos totales y metales pesados (mercurio, cadmio, hierro).

Los impactos agregados por el vertimiento del agua de los procesos mineros auriferos sobre el cuerpo de agua receptor están relacionados con cambios en la calidad fisicoquímica del agua, resultado de los altos contenidos de solidos suspendidos totales, mercurio, cadmio, plomo, cobre, zinc, hierro y pH ácidos; de esta manera, aunque las UPM estudiadas estén aportando otras sustancias de importancia sanitaria en concentraciones bajas, estos aportes podrían ser causantes del deterioro de la calidad del cuerpo de agua y como resultado disminución en la disponibilidad del mismo.

En el distrito minero nordeste antioqueño se evidencia una falta de conocimiento de las características más relevantes de los depósitos minerales y un atraso en cuanto al tema de tecnologías más limpias y eficientes dentro de las plantas de beneficio; también aunque ya existe una ley de prohibición del mercurio, aun se ve el uso del mismo para el proceso de amalgamación en todas las UPM visitadas dentro del marco del proyecto. Además debido a esta falta de conocimiento y a que la mayoría de los circuitos de

recuperación aurífera son discontinuos o con baches, se tiene poco control de las entradas y salidas de flujo de material y agua en cada una de ellas.

Las explotaciones aluviales llevadas a cabo en el distrito minero itsmina (Choco) y específicamente las dragas que se encuentran trabajando en el Rio Quito, realizan la extracción de los sedimentos del rio de forma incorrecta, debido a que están trabajando en el lecho y ribera de este, afectando el cauce del mismo e incumpliendo con lo establecido por la norma en cuanto al tema de las zonas en las que no se puede realizar minería. Por su parte las UPM del distrito que extraen el oro depositado en antiguos abanicos aluviales no tienen un criterio de selección del material a procesar, solo realizan la parte de la remoción de la cobertura vegetal, y todas las demás capas de los estratos de la columna estratigráfica son procesados, sin tener en cuenta cuales poseen los tenores de oro recuperables.

En lo concerniente al sector minero de carbón, en el distrito minero de Zipa-Samacá de las UPM evaluadas, solo dos presentaron descargas de aguas de mina con concentraciones elevadas del mercurio, por encima de los límites permisibles de la Resolución 631 de 2015. Por otro lado, una sola UPM presentó además concentraciones elevadas de Hierro, SST y DQO. En general en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá las UPM vierten en menor concentración metales como cadmio y plomo, valores acordes a los límites permisibles. Adicionalmente, las características físicas de las aguas de mina vertidas, por la presencia de solidos suspendidos afecta la turbidez del agua, alterando los cauces receptores en este parámetro de calidad del recurso hídrico.

A las aguas extraídas de la operación unitaria del ciclo de extracción minero desagüe de la mayoría de las UPM visitadas en el distrito minero Zipa-Samaca (Cundinamarca y Boyaca) no se les da ningún tipo de uso dentro del proceso minero, esta se puede utilizar para la humectación de las pilas de carbón en el patio de acopio con el fin de evitar ignición del mismo, reducir la cantidad de polvo de carbón (causante principal de enfermedades respiratorias en la minería de carbón) y a su vez para reducir la cantidad de ceniza y materia volátil que se tenga.

El distrito minero de Amaga (Antioquia) se caracterizó por ser uno de los distritos con mejor tecnificación en cuanto al tema de las operaciones unitarias de extracción y beneficio, se llevan a cabo utilizando la maquinaria más adecuada y óptima para el tipo de minería que implementan (pequeña minería).

11. RECOMENDACIONES

Debido a la falta de estudios mineralógicos y metalúrgicos de las UPM auríferas visitadas en el distrito minero Nordeste antioqueño, se recomienda la realización de los mismos, con el fin de obtener parámetros de diseños mineralurgicos como la DTP (Distribución de tamaño de partícula), el grado de liberación del mineral, la asociación mineralógica del mismo, entre otros; que me lleven a plantear un esquema de beneficio de oro con tecnologías limpias y más efectivas y que me arrojen un porcentaje de recuperación más elevado y con un una demanda de agua más baja.

Las aguas generadas durante el proceso minero y las de escorrentía se deben congregar y conducirse mediante canales, en tierra o recubiertos, al sistema de tratamiento de vertimientos implementado. Además se recomienda establecer las metas de calidad de los cuerpos de agua receptoras de los vertimientos provenientes de las UPM para todas las regiones del país.

Para el caso de los entables, los vertimientos de cada uno puede agruparse para conducir uno sólo al cuerpo de agua establecido, de esta manera pedir un permiso de vertimiento que sea más fácil de supervisar por las autoridades ambientales competentes de la zona.

A las UPM carboníferas estudiadas en el distrito minero Amaga (Antioquia) se les recomienda realizar estudios geotécnicos para analizar la posible subsidencia que se esté presentando o se tenga a fututo en la zona, debido a todas las operaciones subterráneas que hay presentes, todo esto teniendo en cuenta la inestabilidad de la zona, el descenso que ha tenido el terreno por las excavaciones, entre otras.

Las operaciones de explotación aurífera aluvial del distrito minero Itsmina (Choco) en el departamento de Choco reflejan una falta de etapas del ciclo minero como lo son la exploración y el planeamiento minero, por lo que se recomienda realizar pequeñas exploraciones para identificar las zonas de los depósitos minerales con los tenores más altos y recuperables desde el punto de vista económico y ambiental; a su vez diseñar un planeamiento minero a corto, mediano y largo plazo que me permita llevar un control de las operaciones unitarias de extracción y beneficio realizadas en cada UPM.

Como es sabido la explotación de carbón subterránea ha provocado grandes accidentes con muchas pérdidas humanas en el país y aunque los mantos de carbón del distrito minero Zipa-Samaca (Cundinamarca y Boyaca) no presentan altos contenido del gas metano(Principal responsable de las explosiones en la minería de carbón) a diferencia de los del distrito Amaga, se recomienda diseñar circuitos de ventilación óptimos que incluyan ventiladores principales y auxiliares, puertas, cortinas, muros, etc; para cada UPM teniendo en cuenta las necesidades de aire limpio y la cantidad de aire viciado en

cada uno de los niveles y zona de la mina, a su vez estableciendo diferencias de cota entre boca-viento y boca-mina que se encuentren dentro de lo exigido por la normatividad colombiana, también se recomienda la instalación de medidores de gases (Oxigeno, Metano, Dióxido de carbono, entre otros) en los puntos clave del circuito de ventilación.

Es necesario implementar un plan piloto que permita determinar los módulos con información permanente y técnicamente medida durante un período de tiempo determinado que no sea inferior a un año normal, es decir, que no sea afectado por el fenómeno del Niño o la Niña, y de esta manera establecer valores concluyentes.

Instalar medidores de caudales (volúmenes) en las UPM, para cuantificar la cantidad de agua demandada, diferenciando en sus respectivos usos.

Implementar indicadores de calidad en las UPM que permitan identificar los cambios en las cantidades de agua impulsadas desde el socavón y sus respectivas características fisicoquímicas.

Para el caso de minería de carbón, Suplir en gran medida las necesidades domésticas (abastecimiento unidades sanitarias) con el agua extraída desde el fondo de los socavones, antes de ser vertida a los cuerpos de aguas superficiales o al suelo.

Las autoridades ambientales definan metas de calidad de reducción de carga contaminante en un periodo de tiempo determinado, obligando a los usuarios del recurso hídrico (aquellos que capten o viertan) a cumplir con los parámetros establecidos y lograr reducir la concentración de contaminantes en las fuentes receptoras.

12. BIBLIOGRAFÍA

Casas, A.M. 2012. *Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. : s.n., 2012. pág. 128, Tesis de maestría. Obtenido de: http://www.bdigital.unal.edu.co/6498/1/300013.2012.pdf.

Cubillos, N. 2012. Habrá Fiscalización minera para evitar el lavado. *La República.* 9 de agosto de 2012, págs. Obtenido de: http://www.larepublica.co/economia/habr%C3%A1-fiscalizaci%C3%B3n-minera-para-evitar-lavado_17627.

DNP. 2005. *Conexión de los distritos carboníferos a la red férrea nacional - Lineamientos de política (Documento CONPES 3394).* Departamento Nacional de Planeación -DNP. Bogotá, D.C. : s.n., 2005. pág. 18. Obtenido de: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3394.pdf.

—. 2007. *Política de Estado para el Pacífico colombiano (Documento CONPES 3491).* Departamento Nacional de Planeación -DNP. Bogotá, D.C. : s.n., 2007. pág. 107.

Gobernación de Antioquia. 2013. *Memorias Foro subregional: ¿De qué vivirán los pobladores rurales?, Bajo Cauca.* Medellín : Obtenido de: http://antioquia.gov.co/PDF2/9%20MEMORIAS%20BAJO%20CAUCA-%20FORO%20RURAL.pdf, 2013.

Gobernación de Cundinamarca. 2010. *Plan de desarrollo minero para el departamento de Cundinamarca 2010 - 2019.* Secretaría de Minas, Gobernación de Cundinamarca. Bogotá, D.C. : s.n., 2010. pág. 60. Obtenido de: http://www6.cundinamarca.gov.co/Cundinamarca/Archivos/FILE_ENTIDADES/FILE_ENTIDADES87378.pdf.

Golder Associates Africa. 2014. *Targets for water conservation / Water demand management in the mining sector: Key indicators, methodologies to set targets*

and commodity-based targets. Department of waterr and sanitation, Chamber of mines of South Africa. Pretoria, Sudáfrica : Cámara de minas de Sudáfrica, 2014. Obtenido de: http://www.aspasa.co.za/PDFs/WC_WDM_Implementation_Guideline%20Rev4%20Issued%20to%20PSC.pdf.

Humbolt, Instituto Alexander Von. 2008. 2008.

IGAC. 2008. 2008.

ISO. 2008. Norma Internacional ISO 9001. 2008.

MinMinas. 2003. Guía Minero Ambiental 3 Beneficio. 2003.

Minminas y Ingeominas. 2003. *Glosario técnico minero.* Ministerio de Minas y Energía, en coordinación con el Servicio Geológico Colombiano (anterior Ingeominas). Bogotá, D.C. : s.n., 2003. pág. 168, Informe técnico. Obtenido de: http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf.

Monsalve, J.E. 2012. *Notas de clase de la asignatura: Minería subterránea.* Medellín, Ant. : Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 2012.

Perez, Wilimton. 2015. *Comunicación Personal, 04 de agosto.* 2015.

—. 2015. *Comunicación Personal, 04 de agosto.* 2015.

Rethinking adaptation for a 4 °C world. Stafford, M., y otros. 2011. 1934, 2011, Philosophical transactions of The Royal Society, Vol. 369, págs. 196 - 216. Obtenido de: http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/369/1934/196.full.pdf.

Ríos, J.A., Escobar, J.F. y Palacio, I. 2010. *Guía metodológica para determinar módulos de consumo de agua y factores de vertimiento.* Medellín : Elaborado por la Universidad Pontificia Bolivariana para Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010. pág. 78. Obtenido de:

http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Documents/CARTILLA_COMPLETA_MCFV.pdf.

UPME. 2005. *Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte.* Subdirección de planeación minera, Unidad de planeación minero energética. Bogotá, D.C. : Ponce, A. texto editorial , 2005. pág. 120, Informe técnico.

—. 2010. *Indicadores de la minería en Colombia: Seguimiento al Plan Nacional de Desarrollo Minero 2007 - 2010.* Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. Bogotá, D.C. : s.n., 2010. pág. 120. Obtenido de: http://www.simco.gov.co/Portals/0/publicaciones/INDICADORES%20MINEROS.pdf.

—. 2005. La Cadena del carbón. 2005.

—. 2005. *La cadena del carbón: fuente de energía para el futuro.* Bogotá, D.C. : s.n., 2005. pág. 52. Obtenida de: http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf.

—. 2004. PLAN DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE Y PORTUARIA PARA EL DESARROLLO MINERO EN COLOMBIA. CARACTERIZACION DISTRITOS MINEROS. 2004.

UPME y Muñoz, J. 2007. *Diseño de agenda para el desarrollo productivo y competitivo del distrito minero Zipa - Samacá. Informe final.* Informe de consultoría preparado por Jineth M. Muñoz para la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. Bogotá. Obtenido de: http://www.simco.gov.co/Simco/Portals/0/INFORME_FINAL_zipa_samaca.pdf : s.n., 2007. pág. 209.

UPME y UIS. 2014. *Estimación de áreas intervenidas, consumo de agua, energía y costos de producción en la actividad minera.* Subdirección de Planeación Minera, Unidad de Planeación Minero Energética -UPME. Bogotá : Informe preparado por la Universidad Industrial de Santander -UIS., 2014. pág. 33, Informe de

consultoría. Obtenido de:
http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/AREAS_INTERVENIDAS.pdf.

Uribarri, M. 2004. Módulos de capacitación técnico ambiental. *Capacitación para minería artesanal.* Lima, Perú : s.n., 2004.

Ministerio de Ambiente, V. y.-I. (2010). Definición Participativa de la Zonificación, el Ordenamiento y los Lineamientos de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal del Pacifico, Creada mediante la Ley 2 de 1959. Quibdó.

CAPITULO 3. MODELOS Y MEJORES PRÁCTICAS

1. Documento que establezca a partir de los análisis de resultados de análisis de laboratorio obtenidos en las zonas seleccionadas contaminadas por mercurio una Línea de Base Ambiental en donde se determine las concentraciones de mercurio en aguas, suelos, sedimentos, aire y biota (plantas y peces) en la zona minera seleccionada para conocer su afectación ambiental. En suelos, sedimentos y biota, analizando el metilmercurio, para conocer la transformación del mercurio. Determinando la biodisponibilidad y las fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos del área estudiada, para establecer su potencial origen. El documento debe contener el análisis y modelación de la evolución temporal del mercurio con el análisis en núcleos sedimentarios en tres zonas afectadas por minería.

2. Documento con propuestas de mejores prácticas o acciones para optimizar el uso del recurso hídrico en cada una de las minas visitadas.

3. Documento con propuestas de estrategias para disminuir la generación de sustancias contaminantes y mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua, en cada una de las minas visitadas.

4. Documento con el establecimiento de un modelo conceptual del comportamiento espacial y temporal del mercurio en el área minera, desde que entra al proceso hasta su destino final en el ambiente. El documento debe contener propuestas de estrategias específicas para disminuir la contaminación por mercurio en cada una de las zonas seleccionadas.

1. INTRODUCCION

La política de desarrollo minero del país posee proyecciones que le permitirán avanzar en el contexto latinoamericano como una de las economías fundamentadas en el mejoramiento de la productividad del sector, organizando sus actividades, con miras a agrupar las diversas variables asociadas a la estructura productiva y competitiva minera, que se presentan en el territorio nacional, adoptando lo establecido alrededor de la conceptualización y demás aspectos relacionados con los Distritos Mineros. (Cadena de Carbón, 2012)

Para el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, propender por la implementación de buenas prácticas en los aspectos técnicos, con la visión permanente de la implementación de técnicas, tecnologías y metodologías enmarcadas en el desarrollo sostenible, es un ejercicio permanente que permite al sector minero del país iniciar los pasos requeridos para mitigar y minimizar los aspectos ambientales asociados al sector productivo en las regiones donde se llevan a cabo las actividades de explotación o extracción.

Los aspectos ambientales asociados al sector productivo minero involucran, entre otros, uso o consumo del recurso hídrico, consumo de combustibles, consumo de energía, uso de materiales, deterioro del paisaje y de los suelos y, consecuentemente, genera aspectos como vertimientos, emisiones, afectación de flora y generación de residuos ordinarios y peligrosos. Dentro de este contexto, las actividades que se desarrollan en este sector, deben estar sujetas a mejoramientos en sus operaciones que permitan controlar estos aspectos y minimicen los impactos a las comunidades que se encuentran en el área de influencia del proyecto minero en desarrollo, fundamentándose en criterios de ahorro y uso eficiente de los recursos que intervienen en esta cadena productiva del país.

La actividad minera en el país posee una gran participación de la minería de subsistencia y de la minería a pequeña escala, la minería mediana y de gran escala aportan gran parte de la producción nacional, éstas últimas, en su gran mayoría, se encuentran organizadas y con tendencia a implementar conceptos que las van tecnificando y haciendo mayormente competitivas tanto desde el punto de vista productivo como desde el punto de vista del desarrollo sostenible.

La responsabilidad que tiene el estado con el desarrollo sostenible y los diferentes tratados internacionales y legislación propia, lo impulsan a implementar con mayor ahínco los procedimientos, tecnologías y técnicas necesarias para dar cumplimiento a estos compromisos; este documento es una aporte a estos requerimientos que se tratan de abordar desde la perspectiva del sector minero y con fines de dar cumplimiento a la

gestión ambiental del país, enfocada en primera instancia a la gestión del recurso hídrico y a la gestión asociada con el mercurio y el Convenio de Minamata.

2. OPTIMIZACION DEL RECURSO HÍDRICO

Teniendo en cuenta que la palabra optimizar "*es la acción de buscar la mejor forma de hacer algo, esto quiere decir que es buscar mejores resultados, mayor eficiencia o mejor eficacia en el desempeño de algún trabajo u objetivo a lograr*"[137], por lo tanto en el presente documento lo que procuramos es proponer ciertas acciones o tecnologías que nos lleven a utilizar de manera más eficiente o eficaz el recurso hídrico dentro de los procesos de explotación y beneficio del mineral en cada una de las UPM visitadas dentro del estudio.

Para llegar a estas propuestas en primer lugar se identificaron las prácticas y tecnologías a nivel nacional e internacional que estén encaminados a optimizar la demanda de agua en cada uno de los procesos mineros. Una vez identificadas estas prácticas y tecnologías se analizaron y se identificaron los procesos unitarios donde se realice la demanda del recurso hídrico (entregable 2, ítem 2.2 para minería de oro y 3.2 para minería de carbón); luego, procedemos a identificar qué prácticas o tecnologías se pueden aplicar y de qué manera a cada una de las UPM visitas.

Este ejercicio busca establecer una proyección de los conceptos y mejores prácticas que generen mejores resultados enmarcados dentro del uso eficiente y eficaz del recurso hídrico.

2.1. MEJORES PRÁCTICAS PARA OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO HÍDRICO

De manera general las mejores prácticas o acciones identificadas o propuestas para lograr la optimización del recurso hídrico tenemos las siguientes:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes; este estudio permite identificar y evaluar los cursos de agua en época de lluvia y estiaje además permitirá la identificación de los impactos que generarían las operaciones mineras sobre las cuencas.

[137] http://www.gestiopolis.com/concepto-de-optimizacion-de-recursos/

Así también se deberá realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuifugos), en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas[138]; este estudio busca evaluar el comportamiento del agua subterránea para diferentes escenarios del proyecto minero, con el objetivo de predecir las condiciones hidrogeológicas futuras, tanto en la etapa de exploración, construcción y montaje, explotación como en la de cierre y abandono, así mismo se pueden evitar los drenajes ácidos de mina, obteniendo un planeamiento minero adecuado de acuerdo a los resultados del modelo hidrogeológico.

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[139].

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico[140]

- Mejorar el sistema de captación de agua y el de almacenamiento.

- Colocar medidores de caudal en la entrada, salida y recirculación con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso[141].

[138] Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011
[139] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.
[140] Corporación Autónoma de las Cuencas de los ríos Negro-Nare CORNARE. Memorias Fenómeno del Niño - Acciones para la conservación uso eficiente y ahorro del agua en la región CORNARE. 21 de julio 2014
[141] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006. El agua en la industria minera mexica. Parte 1 Balances de materia en una empresa cooperante.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones[142] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso.

- Realizar monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina (nacimiento, ciénaga, río, arroyo, caño, quebrada, jagüey, otros), a sus cuencas y zonas aledañas con el fin de tener un control de las características físicas del recurso hídrico (color, turbidez, caudal, olor, entre otras).

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua en aquellas UPM donde no se esté desarrollando este sistema.

- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores.

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal[143].

[142] Fedesarrollo Y Sector De La Minería De Gran Escala. Minería Y Medio Ambiente En Colombia. Bogotá, 18 De Junio De 2014
[143] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. Pág. 51.

- Realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reuso.

- Optimizar el riego de caminos: El regadío debe cubrir como mínimo la mitad del ancho del camino, se debe efectuar en horas de baja evaporación y de alto tráfico vehicular. También se pueden construir superficies asfálticas o realizar estabilización química de los caminos.

- Definir planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de la UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico. Someterlos a simulacros[144]

- Los municipios deberán formalizar programas en el marco del desarrollo de los mapas de riesgo de la calidad del agua de consumo humano establecidos en el decreto 1575 de 2007, con el fin de manejar preventivamente las cuencas hídricas en las áreas de influencia de las zonas de desarrollo minero, amparando los recursos necesarios para este programa en los aportados por regalías a cada municipio.

- Formar tecnólogos mineros con énfasis en la explotación minera tecnificada, que incluya el manejo, dentro del marco del desarrollo sostenible, de los procesos de extracción minera.

A partir de este momento procederemos a especificar cuáles y de que maneras se pueden aplicar las acciones anteriores a cada una de las UPM visitadas.

[144] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26

2.1.1 Minería de Oro

2.1.1.1 Distrito minero del Nordeste Antioqueño

En el Departamento de Antioquia se visitaron 5 UPM en los municipios de Zaragoza y Segovia, pertenecientes al distrito minero Nordeste Antioqueño, identificadas con los códigos: 05895O01, 05895O02, 05736O03, 05736O04 y 05736O05.

Con base en el tipo de fuente abastecedora, las características de los procesos, el funcionamiento de las UPM, el sistema de distribución y la demanda del recurso hídrico que se da en éstas, se conformaron 2 grupos, para los cuales se proponen mejores prácticas orientadas a la optimización del uso/consumo del recurso hídrico aplicables a cada una.

a. Grupo 1

Este grupo está conformado por las UPM 05895O01 y 05895O02, en las que se realiza extracción subterránea por medio del método de explotación de tambores paralelos, el agua para satisfacer la demanda de la UPM es captada de cuerpos de agua superficial (Arroyo) y el agua proveniente del socavón de la mina no es utilizada en ninguna etapa del proceso minero, sino que es enviada por tubería fuera de la bocamina.

En la UPM 05895O01, se hallaron fugas en el sistema de tuberías de captación y distribución, se caracteriza en que los procesos unitarios que demandan el recurso hídrico son la molienda, la concentración, la cianuración y el consumo doméstico, con una demanda total de 93,74 m^3/mes para procesar 18,2 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 5,150 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Ilustración 26. Tubería de abastecimiento.

En la UPM 05895O02, el sistema de tuberías de captación y distribución presentaba fugas, se caracteriza en que los procesos unitarios que demandan el recurso hídrico son la molienda, la cianuración y el consumo doméstico, con una demanda total de 124,112 m^3/mes, para procesar 29,12 toneladas, laborando 26 días al mes, 9 horas por día, obteniendo una relación de 4,26 m^3 agua/tonelada de material procesado.

Las propuestas de mejores prácticas para optimización del recurso hídrico en estas UPM son:

- Mejorar el sistema de distribución del recurso hídrico, por medio de la disminución de la distancia de las tuberías entre la captación y el punto de distribución del recurso, con el propósito de disminuir la posibilidad de fugas de agua y mejorar el almacenamiento del recurso hídrico, por medio de la construcción de un reservorio para almacenar el agua proveniente de la fuente abastecedora principal y un reservorio para el almacenaje de aguas para reúso, en el caso de la UPM 05895O01 usar los tanques plásticos con los que cuenta la UPM para el almacenamiento de aguas lluvia.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de las operaciones unitarias, en la molienda se agrega agua a los cocos por medio de baldes, en este proceso se dan pérdidas de agua por un manejo indebido al momento de la adición de la misma, se recomienda, disminuir la distancia entre el punto de almacenamiento y el punto de adición del agua o implementar el uso de mangueras con válvulas para el control en esta operación unitaria, al igual que la instalación de dispositivos ahorradores en las

tuberías que suministran agua a las operaciones de concentración (UPM 05895O01) y cianuración[145] (FEDESARROLLO, 2014).

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. En los procesos de molienda, concentración y cianuración, si se realizan, se deberá instalar o construir, tuberías o canaletas que redirijan las aguas que salen de cada etapa hacia un punto donde se retiren las arenas y se almacene, desde el cual se redirija hacia las operaciones unitarias que la demanden, en el proceso de cianuración se podría reusar el agua utilizada hasta 6 meses teniendo en cuenta que se realiza 1 proceso por mes.

- Realización de un estudio hidrológico de la zona, donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta en cartografía y se presente los análisis de disponibilidad, usos y limitantes del recurso hídrico (MINAMBIENTE, 2011), este estudio podría ser realizado en conjunto con otros proyectos mineros de la zona.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico; con prácticas orientadas a proteger las fuentes de agua con las que se cuenta y favorecer la cantidad y calidad del agua, como es el cercado de fuentes de agua con barreras vivas, reforestación, reciclaje y realizar jornadas de limpieza de la fuente abastecedora.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal[146] (Gobierno de chile, 2002). considerando como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores

b. Grupo 2

Este grupo está conformado por las UPM 05736O03, 05736O04 y 05736O05, en las que solo se realiza el beneficio del mineral, el agua que se demanda en este proceso es captada de fuentes de agua subterránea y no cuentan con otra fuente de abastecimiento.

[145] Fedesarrollo Y Sector De La Minería De Gran Escala. Minería Y Medio Ambiente En Colombia. Bogotá, 18 De Junio De 2014
[146] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería (2002). Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre.

En La UPM 05736O03 se hallaron fugas en el sistema de tuberías de distribución, los procesos unitarios que demandan el recurso hídrico son la molienda, concentración, cianuración, fundición, supresión de polvo y consumo doméstico, con una demanda total de 1324,46 m^3/mes, para procesar 126 toneladas, laborando 30 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 10,51 m^3 agua /tonelada de material procesado.

En La UPM 05736O04, el sistema de tuberías de captación y distribución presentaba fugas, los procesos unitarios que demandan el recurso hídrico son la molienda, concentración y consumo doméstico, con una demanda total de 175,63m^3/mes, para procesar 46,2 toneladas, laborando 30 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 3,8 m^3 agua /tonelada de material procesado.

En La UPM 05736O04, el sistema de tuberías de captación y distribución se hallaron fugas y muchas tuberías en desuso, los procesos unitarios que demandan el recurso hídrico son la molienda y consumo doméstico, con una demanda total de 163,44 m^3/mes, para procesar 52,92 toneladas, laborando 12 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 3,09 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Las propuestas de mejores prácticas para optimización del recurso hídrico en estas UPM son:

- Optimizar el método de suministro del agua en cada operación unitaria, en la molienda se agrega agua a los cocos por medio de baldes, en este proceso se dan pérdidas de agua por un manejo indebido al momento de la adición de la misma, se recomienda, disminuir la distancia entre el punto de almacenamiento y el punto de adición del agua o implementar el uso de mangueras con válvulas para el control en esta operación unitaria, al igual que en las tuberías que suministran en agua a la etapa de concentración, cianuración y fundición ,si las hay y la instalación de unidades sanitarias con bajo consumo de agua y lavabos ahorradores en el caso de la UPM 05736O03[147] (FEDESARROLLO, 2014).

- Reducir los tiempos de demanda de agua en el consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo, en el caso de la UPM 05736O03, debido a que el proceso de concentración se realiza en el doble de tiempo que en las demás UPM se sugiere disminuir el tiempo utilizado.

[147] Fedesarrollo y sector de la minería de gran escala. Minería y medio ambiente en Colombia. bogota, 18 de junio de 2014

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua, en el proceso de molienda y concentración se deberá redirigir el agua utilizada por medio de las canaletas existentes hacia un punto donde se retiren las arenas y se almacene, desde el cual se redirija hacia las operaciones unitarias que la demanden. Así mismo, en las UPM donde se realice la etapa de cianuración se deberá considerar reusar el agua, teniendo en cuenta la cantidad de procesos que se realizan por mes.

- Mejorar el sistema de almacenamiento del recurso hídrico, por medio de la construcción de un reservorio el almacenaje de aguas de reúso, que luego serán bombeadas junto con el agua proveniente de la fuente abastecedora principal y las aguas lluvia hacia cada operación unitaria que la demande.

- realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuifugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas (MINAMBIENTE, 2011).

c. Propuestas Generales

- Instalar medidores de caudal en la entrada (punto de ingreso del agua a los reservorios y entrada a procesos), salida (punto de vertimiento) y recirculación (ubicado en el punto de salida del agua del almacenaje hacia los procesos) con el fin de conocer de manera exacta y constante la cantidad de agua utilizada en el proceso. (Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006)

- Realizar monitoreo periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado.
- Llevar a cabo jornadas de divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico (CORNARE, 2014) dirigida a los empleados que laboran en las UPM, con el fin de crear consciencia y modificar conductas que generen desperdicios del recurso hídrico. Para la realización de las jornadas se puede solicitar apoyo de la CAR correspondiente.

- Definir planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de la UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico, como casos de roturas en las tuberías principales o de los reservorios que puedan generar grandes pérdidas (Agencia Nacional De Minería (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26).

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso domestico

- Realizar periódicamente monitoreo de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas, aguas lluvias y aguas de reúso, con el fin conocer si el agua suministrada es adecuada y verificar no contenga sustancias que puedan obstruir o afectar las actividades realizadas dentro de la UPM, disminuyendo la eficiencia de los procesos.

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[148].

2.1.1.2 Distrito minero de San Martín de Loba

En el departamento de Bolívar se visitaron 10 Unidades de Producción Minera (UPM), ubicadas en los municipios de San Martín, Hatillo de Loba, Norosí y Altos del Rosario, pertenecientes al Distrito Minero de San Martín de Loba, con un tipo de minería aurífera subterránea.

[148] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

Las UPM visitadas son abastecidas principalmente de fuentes subterráneas en un 86.6%, al utilizar el agua proveniente de la infiltración de la bocamina y de pozos perforados; ahora, debido a las condiciones de temporada seca que presentaba la zona al momento de efectuarse las visitas, se evidencia una reducción del régimen hídrico de las quebradas que suministran agua en la región.

A continuación se realizarán las recomendaciones de las mejores prácticas para optimar el uso del recurso hídrico, agrupando las UPM que sean posibles, teniendo en cuenta básicamente los tipos de fuente de abastecimiento y procesos unitarios aplicados en el beneficio del material y de manera individual aquellas que no presenten similitudes.

a. Grupo 1

Las siguientes UPM serán agrupadas teniendo en cuenta que se abastecen de un cuerpo de agua superficial, para el suministro de las operaciones unitarias efectuadas en cada una de ellas.

UPM 13490O02-2: La UPM capta el agua para el proceso de beneficio de la quebrada Arenoso, como suministro a las operaciones unitarias de Molienda - Amalgamación e Hidrometalurgia, siendo la molienda la etapa del proceso minero que presenta mayor demanda. Adicionalmente para el consumo humano se toma el agua de un pozo profundo. La demanda de agua de la UPM es de 88.7 m^3/mes, para procesar 27 toneladas, laborando 26 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 3.28 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13667O04-3: El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de la quebrada Azulita, para el abastecimiento de la operación unitaria de Molienda - Amalgamación. Adicionalmente para el consumo humano el agua es tomada de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 58,6 m^3/mes, para procesar 145,6 toneladas, laborando 26 días al mes, 9 horas por día, obteniendo una relación de 0,41 m^3 agua/tonelada de material procesado.

Se considera realizar mejores prácticas, como:

- Mejorar el sistema de captación y el de almacenamiento. Las UPM no cuentan con sistema de almacenamiento de agua, puesto que las operaciones unitarias son abastecidas directamente desde la fuente, siendo necesaria la construcción de una estructura de almacenamiento de agua, para mejorar la demanda del recurso hídrico sobre la fuente.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (Fedesarrollo Y Sector De La Minería De Gran Escala. 2014). y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. Las UPM tienen un sistema de captación de agua con tuberías, sin válvulas que controlen la salida de agua, presentándose perdidas; el agua es suministrada a los cocos amalgamadores con baldes, con el fin de dosificar la demanda del recurso.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control de las características físicas. Las UPM pueden realizar un mantenimiento de las quebradas, enfocado al sostenimiento de los taludes, con siembra de engramado, para prevenir la erosión o socavación en temporada de lluvia y recolección de escombros, basura, o árboles que estén en el cauce.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua.

  Las UPM precisan un modelo de recirculación desde las operaciones de lavado de cocos amalgamadores y de arenas cianuradas en el caso de la UPM 13490O02-2, en los cocos amalgamadores son utilizadas pozas de sedimentación de lodos, donde también es recolectada el agua; luego de ellas es necesario almacenar el agua retirando las arenas, para ser bombeada con tubería hacia la recirculación. Para el caso de las arenas cianuradas, son lavadas a la intemperie durante el proceso de cianuración, por lo tanto se debe realizar este en un espacio cerrado, donde se pueda tener control sobre el agua.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de Chile, 2002.)[149]

  Los cuerpos de agua superficiales donde se abastecen las UPM 13490O02-2 y 13667O04-3, se ven reducidos en su caudal en época seca, efectos de los niveles bajos en el régimen de precipitaciones. Por esa razón es necesario realizar un inventario de posibles fuentes de captación de agua y se seleccionara, la que se ajuste al volumen de agua demandado por la UPM durante las dos épocas del año, seca y

[149] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. Pág 51

lluviosa. También se puede considerar la captación de aguas de lluvia como suministro.

b. Grupo 2

Las siguientes UPM serán agrupadas por tener fuente de abastecimiento subterránea proveniente desde la bocamina para las operaciones mineras, sistema de almacenamiento de agua y proceso de beneficio similar. A partir de esto, resulta necesario efectuar las siguientes mejores prácticas al recurso hídrico, de igual forma:

UPM 13030O05: El agua proveniente desde la bocamina se utiliza para las operaciones de Molienda – Amalgamación, mientras que para consumo humano el agua es captada de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 39,3 m^3/mes, para procesar 20,16 toneladas, laborando 8 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 1,95 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13667O10: El agua proveniente de la infiltración en las diferentes bocaminas se utiliza para la operación de molienda (Cocos – Molino Californiano) y Amalgamación. La demanda de agua de la UPM es de 1006.2 m^3/mes, para procesar 312 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 3,22 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13300O09: El agua subterránea proveniente de una bocamina antigua en desuso se utiliza para la operación de Molienda - Amalgamación y consumo doméstico. La demanda de agua de la UPM es de 230.7 m^3/mes, para procesar 27 toneladas, laborando 30 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 8.54m^3 agua/tonelada de material procesado.
Las mejores prácticas al recurso hídrico, son:

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (Fedesarrollo y Sector De La Minería de Gran Escala. 2014)[150] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. Las UPM utilizan tubería al momento de lavado, mientras que para la molienda se usan baldes para dosificar el

[150] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá. Junio de 2014.

agua. Las tuberías no poseen llave que cierre el flujo del agua, generando desperdicios de esta, es por ello que se deben adaptar válvulas en las tuberías.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. Las UPM requieren un modelo de recirculación de agua desde las operaciones de lavado de cocos amalgamadores y en la descargas de estos se ubican pozas de sedimentación de lodos, donde también es recolectada el agua; luego de ellas es necesario almacenar el agua retirando las arenas, para ser bombeada con tubería hacia la recirculación.

c. Grupo 3

Las siguientes UPM serán agrupadas por tener fuente de abastecimiento subterránea y proceso de beneficio similar. Es por ello que las mejores prácticas al recurso hídrico se efectuaran de igual forma en:

UPM 13030O06-01: El agua proviene de una clavada abandonada, para suministro de las operaciones de Molienda – Amalgamación y pre concentración. Adicionalmente para consumo humano los trabajadores captan el agua de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 1114.12 m^3/mes, para procesar 150 toneladas, laborando 30 días al mes, 20 horas por día, obteniendo una relación de 7,42 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13030O06-03: El agua proviene de una clavada abandonada, para proveer las operaciones de Molienda - Amalgamación. Adicionalmente para consumo humano los trabajadores captan el agua de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 85.30 m^3/mes, para procesar 23,4 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 3,65 m^3 agua/tonelada de material procesado.
Las mejores prácticas al recurso hídrico, son las siguientes:

- Optimizar el método de suministro del agua en cada uno de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. 2014)[151] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. En las UPM cuentan con cocos amalgamadores para el proceso de beneficio, utilizando baldes para la dosificación

[151] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá. Junio de 2014.

del agua al momento de la molienda, pero al efectuar el lavado de los cocos se realiza directamente desde tubería con flujo directo de agua, siendo indispensable colocar válvulas que eviten el desperdicio del recurso.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. La UPM 13030O06-1 realiza Molienda y Preconcentración en Molino Californiano, abastecido con flujo constante de agua y Molienda – Amalgamación en cocos amalgamadores. Esta última etapa, es el único proceso en húmedo ejecutado en la UPM 13030O06-3, en cada una es recomendable implementar un modelo de recirculación de aguas en cada etapa. En el molino californiano, al igual que los cocos se instalaran pozas de sedimentación para la acumulación de lodos junto con el agua, para un posterior transporte de las aguas desarenadas hacia su almacenamiento y bombeo hacia cada etapa respectivamente. En la hidrometalurgia realizada para cada UPM, las arenas cianuradas son lavadas a la intemperie durante el proceso de cianuración, por lo tanto se debe realizar este en un espacio cerrado, donde se pueda tener control sobre el agua.

d. Grupo 4

Las siguientes UPM se agruparan por tener fuente de abastecimiento subterránea para las operaciones mineras e igual proceso de beneficio. Teniendo en cuenta lo evidenciado en las visitas de campo a la zona, se proponen las siguientes prácticas para el recurso hídrico.

UPM 13030O06-02: El agua proviene de una clavada abandonada, como suministro para las operaciones de Molienda – Amalgamación e Hidrometalurgia. Adicionalmente para consumo humano los trabajadores captan el agua superficial de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 279.7 m^3/mes, para procesar 31,2 toneladas, laborando 26 días al mes, 11 horas por día, obteniendo una relación de 8,96 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13667O04-01: El agua para las operaciones de Molienda – Amalgamación es abastecida desde un pozo profundo. Adicionalmente para el consumo humano, el agua es captada de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 155.9 m^3/mes, para procesar 91 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 1,71 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13667O04-02: El agua para las operaciones de Molienda – Amalgamación es abastecida desde un pozo profundo. Adicionalmente para el consumo humano, el agua es captada de un nacimiento. La demanda de agua de la UPM es de 219.5 m^3/mes., para

procesar 224,64 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 0,97 m^3 agua/tonelada de material procesado

Las mejores prácticas al recurso hídrico son:

- Mejorar el sistema de captación y el de almacenamiento. Las UPM no cuentan con sistemas de almacenamiento, puesto que las operaciones unitarias son abastecidas directamente desde la fuente, siendo necesaria el diseño y construcción de sistemas de almacenamiento acorde a la demanda de agua.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. 2014)[152] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. Las UPM utilizan cocos amalgamadores, abastecidos con balde para el proceso de molienda, pero al momento de efectuar el lavado de material es directo desde la tubería con flujo directo, siendo necesario colocar válvulas en las tuberías de suministro.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. Las UPM pueden implementar recirculación desde los cocos amalgamadores, realizando mantenimiento de las pozas de sedimentación con las que cuentas, para que sean eficientes en la retención de arenas, luego transportar el agua hasta un almacenamiento y posterior bombeo hacia el proceso.

e. Grupo 5

Las siguientes UPM se agruparan por contar con dos fuentes de abastecimiento para el proceso de beneficio, la primera es de agua subterránea proveniente de la infiltración de la bocamina y la segunda es la recirculación en algunas operaciones unitarias; estas situándose geográficamente una cerca de la otra y situación legal definida. Proponiéndose las siguientes prácticas para el recurso hídrico.

UPM 13667O07: El agua es utilizada en las operaciones unitarias de Molienda, Clasificación, Concentración e Hidrometalurgia, siendo la concentración la etapa de

[152] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá. Junio de 2014.

mayor demanda de agua. Adicionalmente para el consumo doméstico se abastecen del acueducto municipal. La demanda de agua es de 5133.22 m^3/mes, para procesar 600 toneladas, laborando 30 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 8.55 m^3 agua/tonelada de material procesado.

UPM 13667O08: El agua abastece las operaciones unitarias de Molienda, clasificación y concentración, siendo la flotación la etapa de mayor demanda del recurso. Adicionalmente para el consumo doméstico se abastecen del acueducto municipal. La demanda de agua es de 45032.52 m^3/mes, para procesar 2700 toneladas, laborando 30 días al mes, 20 horas por día, obteniendo una relación de 16,7 m^3 agua/tonelada de material procesado

La mejor práctica para el recurso hídrico, es:

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina (socavón y relaveras como tratamiento previo a la recirculación), con el fin de tener un control de las características físicas. En las UPM se debe controlar el derrame de fugas de sustancias toxicas como aditivos de flotación, aceites lubricantes y grasas de la maquinaria pesada y martillos neumáticos, combustibles de la maquinaria pesada y bombas de captación. El mantenimiento de estos equipos debe realizarse en un taller en la superficie. Adicionalmente, es necesario el mantenimiento del sistema de extracción, tuberías y bomba.

Propuestas a UPM individuales

Las siguientes UPM a pesar de tener fuente de abastecimiento subterránea, no lograron ser agrupadas debido a características independientes de cada una.

f. UPM 13490O01:

La fuente de abastecimiento es de agua subterránea proveniente de la infiltración en la bocamina, utilizada en las operaciones unitarias de Molienda, Concentración e Hidrometalurgia, siendo la concentración la etapa de mayor demanda del recurso. Adicionalmente para el consumo humano, extrae el agua de un pozo profundo. La demanda de agua es de 555.8 m^3/mes, para procesar 7,2 toneladas, laborando 16 días al mes, 3 horas por día, obteniendo una relación de 77 m^3 agua/tonelada de material procesado

Se sugiere implementar las siguientes mejores prácticas para el recurso hídrico:

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. 2014)[153]. y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. En la UPM es necesario la instalación de válvulas de control que eviten el desperdicio de agua en la tubería de suministro del molino de bola y en la hidrometalurgia.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. La UPM necesita de un modelo de recirculación de agua desde la concentración, siendo la operación unitaria con mayor demanda del proceso, por lo tanto es factible implementar sedimentadores de las arenas, para reutilizar el agua en las operaciones de molienda y concentración. Por otro lado, se encuentra la etapa de hidrometalurgia, donde también pueden ser recirculada el agua del lavado de las arenas cianuradas, depositándolas en una relavera para posterior tratamiento del agua y reutilización al mismo proceso.

- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores. La UPM podría proyectar la construcción de un reservorio de aguas provenientes de la sedimentación y aguas lluvias, como un sistema de compensación de la demanda máxima generada por la UPM y sus trabajadores. Se considera la topografía del terreno y la ubicación de la fuente de agua para su diseño.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de Chile, 2002.)[154] La UPM se abastece de agua subterránea proveniente de la infiltración en la bocamina, la cual no es suficiente para la demanda de agua de la planta de beneficio, generándose inconvenientes en la continuidad de las operaciones unitarias desarrolladas. Siendo necesario realizar un inventario de posibles fuentes de captación de agua y se seleccionara, la que se ajuste al volumen de agua demandado por la UPM en temporada seca y de lluvia, al mismo tiempo de efectuarse muestreos para análisis físico y químico, evitando la presencia de parámetros que alteren la producción y eficiencia de los procesos mineros.

[153] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá. Junio de 2014.
[154] Gobierno de Chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. Pág 51

Ilustración 27. Entrada de agua al proceso de molienda

g. UPM 13490O02-1:

Tiene una fuente de abastecimiento subterránea proveniente de la infiltración en la bocamina, para suplir la operación unitaria de Molienda - Amalgamación. Adicionalmente para el consumo humano, toma el agua de un pozo profundo. La demanda de agua es de 20.27 m^3/mes, para procesar 8 toneladas, laborando 8 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 2,53 m^3 agua/tonelada de material procesado

Por lo anterior se propone implementar las siguientes mejores prácticas:

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. 2014)[155] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. La UPM tiene cocos amalgamadores para su beneficio, el suministro de agua para la molienda es realizado por baldes, para tener una dosificación. Mientras, que para el lavado de los cocos, se usa tubería con flujo directo de agua, siendo necesario colocar válvulas en las tuberías de suministro, con el fin de evitar pérdidas del recurso.

[155] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá. Junio de 2014.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. La UPM requiere un modelo de recirculación de agua desde la operación de Molienda - Amalgamación, realizando mantenimiento a las pozas de sedimentación con las que cuentan, con el fin de mejorar su eficiencia, de ahí trasladar el agua desarenada a un almacenamiento para su posterior recirculación al proceso.

h. UPM 13667O03:

Tiene una fuente de abastecimiento subterránea, derivada de la infiltración en la bocamina, para proveer las operaciones de Molienda, Concentración, Clasificación e Hidrometalurgia. Asimismo tiene un pozo perforado para el consumo doméstico. La demanda de agua es de 1722.2 m^3/mes, siendo la Concentración la etapa de mayor demanda del recurso, para procesar 400 toneladas, laborando 20 días al mes, 20 horas por día, obteniendo una relación de 4,3 m^3 agua/tonelada de material procesado
Por consiguiente se tendrá en cuenta la puesta en marcha de mejores prácticas para el recurso hídrico, como:

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. La UPM podría implementar un modelo de recirculación de aguas, desde las operaciones de concentración e hidrometalurgia. Al recoger las descargas de cada proceso en relavera para el almacenamiento de colas, transporte de agua desarenada hacia otro punto y posterior recirculación.

- Considerar un reservorio de las lagunas y/o sedimentadores. La UPM puede planificar la construcción de un reservorio de aguas provenientes de la sedimentación y aguas lluvias, como un sistema de compensación de la demanda máxima generada por la UPM y sus trabajadores. Se considera la topografía del terreno y la ubicación de la fuente de agua para su diseño.

i. Propuestas Generales

Adicional al enfoque elaborado para cada una de las UPM visitadas en el departamento de Bolívar, se propondrán estas propuestas de mejores prácticas o acciones para optimizar el uso del recurso hídrico aplicables de forma general en todas las minas visitadas:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes, este estudio permite identificar y evaluar los cursos de agua en época de lluvia y estiaje además permitirá la identificación de los impactos que generarían las operaciones mineras.

  Así también se deberá realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuifugos). En caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas (MINAMBIENTE, 2011)[156]. Partiendo de que las UPM visitadas en el departamento de Bolívar en su mayoría se abastecen de fuentes subterráneas, se debe contemplar estudios hidrológicos e hidrogeológicos, que permitan gestionar la presencia de aguas, para considerar la influencia de esta en la seguridad geotécnica de la explotación, las necesidad del recurso en los diferentes punto de trabajo de la UPM y consumo humano, además de pronosticar problemas asociados entre el agua y el medio ambiente, al finalizar las operaciones mineras.

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico (CORNARE, 2014)[157]. En todas las UPM visitadas se deben realizar capacitación a los trabajadores, sobre el uso eficiente del recurso hídrico como estrategia para mejorar la demanda de agua y eficiencia de las operaciones unitarias realizadas, brindando educación sobre la importancia de una buena gestión y desempeño de las actividades mineras, normatividad legal vigente sobre el recurso y entidades encargadas de su regulación.

- Definir planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de la UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico. Someterlos a simulacros (AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, 2014)[158]. En todas las UPM visitadas, teniendo en cuenta que las infraestructuras de captación y conducción en el proceso minero, se deben dimensionar y construir con elementos seguros y de larga duración, asegurando la efectividad y fiabilidad de estas. Luego de esto, es necesario contar

[156] Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Terminos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011.
[157] Corporación Autónoma de Las Cuencas de los ríos Negro- Nare CORNARE. Memorias Fenomeno del Niño – Acciones para la Conservación uso eficiente y ahorro del agua en la región CORNARE. 21 de julio de 2014.
[158] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (2014), Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social

con planes de emergencia y contingencia en todas las UPM, para prever problemas de drenaje, distribución y escases del recurso hídrico, que puedan entorpecer las labores mineras a lo largo del desarrollo del proyecto o incluso llevar a la suspensión de la explotación minera.

- Colocar medidores de caudal en la entrada, salida y recirculación con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso. (Tecno. Ciencia Ed (IMIQ), 2006)[159]. Ninguna de las minas visitadas en el departamento evidenció medidores de caudales en ningún punto de la línea de agua, siendo indispensable contar con ellos, para la regulación y control de los volúmenes demandados en el proceso y la oferta de la fuente de abastecimiento.

- Realizar monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado. En ninguna de las minas visitadas se tiene registro de inspecciones al sistema de captación y distribución del recurso hídrico, por lo cual se debe establecer una frecuencia en ellas, con el objetivo de mantener en buenas condiciones la línea de agua.

- En época de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico. Al momentos de las visitas realizadas a la zona, en el mes de Julio hubo un aumento del Umbral de neutralidad de hasta el 0.9 °C por encima del Umbral, notándose aún más alto este para el mes de Septiembre donde estuvo por encima del Umbral en 1.3° C lo cual contribuyó a que la temporada de seca recrudeciera en la zona Caribe del País. Las precipitaciones en esta zona para esta época del año son escasas, ya que hace parte de la temporada seca de mitad de año y estos meses se caracterizan por presentar disminución significativa de lluvias, viéndose acentuando por los cambios generados como consecuencia del Fenómeno del Niño, repercutiendo significativamente en esta zona

[159] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006. El agua en la industria minera mexica. Parte 1 Balances de materia en una empresa cooperante.

del país, donde se ha visto una ligera baja de volúmenes de precipitación, los cuales son más bajos de lo normal para toda esta región (IDEAM, 2014)[160].

El fenómeno del niño ha alcanzado la categoría fuerte mostrando continuidad y tendencia al aumento en el calentamiento de las aguas tropicales del océano pacifico y haciendo más probable su extensión hasta el primer trimestre del 2016. A raíz de esto es de notarse que es un año seco puesto a estas anomalías de temperatura van en aumento, previendo las alzas en las tasas de temperatura y bajas precipitaciones, esto intensificándose a lo largo de 9 meses del año en curso hasta principios del siguiente. A esto es de notarse que en un año normal la época de lluvias varía según las regiones del País y va denotada en dos periodos de tres meses a lo largo del año. (IDEAM 2014)[161].

Por lo anterior, se concluye que el almacenamiento de agua lluvia, es una fuente de abastecimiento opcional en época seca, donde se ven interrumpidas las operaciones mineras, debido a la escasez del recurso, siendo una opción viable la captación de esta para el beneficio de las UPM o uso doméstico.

- Realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reusó. Los monitoreos se realizaran en un tiempo establecido por las autoridades competentes, para determinar cualquier parámetro que pueda entorpecer las operaciones unitarias realizadas en cada UPM o tecnologías implementadas en ellas.

  Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a

[160] IDEAM (2014).
[161] IDEAM (2014).

vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[162].

2.1.1.3 Distrito minero del Tambo (Cauca)

El distrito minero de Tambo-Buenos Aires está compuesto por 5 municipios, en este estudio se tuvieron en cuenta UPM en los municipios de: Tambo, Buenos Aires y Suarez, además se visitó una UPM en el municipio de Rosas.

En todas las UPM se realiza extracción subterránea. El 70% utiliza agua subterránea y el 30% agua superficial para el procesamiento de beneficio.

De acuerdo a las características de abastecimiento del recurso hídrico es necesaria la conformación de 3 grupos. Un grupo de minas que demanda agua superficial al proceso de beneficio, un segundo grupo es abastecido por agua subterránea, el tercer grupo utiliza 2 fuentes de agua (superficial, subterránea), adicionalmente de agua lluvia, finalmente la UPM 19110O05 se caracteriza por utilizar dos fuentes (superficiales y subterráneas) y agua lluvia, además se encuentra en un proceso de recirculación de agua en el proceso de beneficio.

A continuación se plantearan mejores prácticas para optimizar el uso/consumo del recurso hídrico por grupos de minas y a nivel general para todas las UPM visitadas.

a. Grupo 1

Conformado por las UPM 19780O01, 19110O05 y 19622O10, se caracteriza porque demandan el recurso hídrico sólo para el proceso de beneficio, son un tipo de minería subterránea aurífero y la fuente de abastecimiento es agua superficial. Para este grupo se plantearan mejores prácticas que optimicen el uso del recurso hídrico en cada UPM y estarán sujetas a la reducción de la fuente de abastecimiento principal y aprovechamiento de otras fuentes que servirán con alternativas para optimizar la demanda de agua.

[162] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

UPM 19780O01: Esta UPM se encuentra en el municipio de Suarez. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento superficial (Quebrada Peñón Fuego Verde), mientras que el agua subterránea que sale de la UPM 19780O01 no es utilizada en los procesos de la UPM, sino que es enviada por tubería fuera de la bocamina. La demanda de agua de la UPM 19780O01 es de 297,41 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda y concentración, siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 12 horas/día; la cantidad de material procesado es de 24 toneladas/mes, obteniendo una relación de 12,4 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Ilustración 28. Tubería de abastecimiento UPM 19780O01

UPM 19110O05: Se encuentra ubicada en el municipio de Buenos Aires. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento superficial (Rio la Teta). La demanda de agua de la UPM 19110O05 es de 3179,52 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración y clasificación siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 15 horas/día; la cantidad de material procesado es de 360 toneladas/mes, obteniendo una relación de 8,83 m^3 agua /tonelada de material procesado.

UPM 19622O10: Ubicada en el municipio de Rosas. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento superficial. La demanda de agua de la UPM 19622O10 es de 4,54 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda y concentración siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 20 días del mes con una

intensidad horaria de 8 horas/día; la cantidad de material procesado es de 6 toneladas/mes obteniendo una relación de 15,1 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Debido a las observaciones de la UPM se tienen en cuentan las siguientes buenas prácticas y acciones para optimizar el uso del recurso hídrico:

- Mejorar el sistema de captación de agua y el de almacenamiento, debido a que en las UPM, tiene tuberías añadidas ocasiona pérdidas en el trasporte del recurso, de igual manera en el Peñón Fuego Verde el agua llega al proceso de beneficio sin control ya que no posee llave que cierre el flujo del agua, lo que genera un desperdicio que puede ser controlado. Por lo tanto es importante esta alternativa con el propósito de ahorrar y aprovechar el recurso hídrico en el proceso de beneficio y evitar fugas en las tuberías, de igual forma utilizar recubrimiento (geomembrana) para el almacenamiento del agua se hace necesario para evitar infiltraciones.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico, es decir, observar e identificar los cambios físicos a través del tiempo, con el fin de conocer su comportamiento y el momento que se muestra crítico su abastecimiento para las UPM, igualmente mantener un control mediante prácticas que orienten a la protección de la fuente en cantidad y calidad de agua.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico, utilizando canaletas en los techos de la UPM y almacenar la mayor cantidad de agua para cuando haya escases del recurso tener posibilidades de abastecerse.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, como son molienda y concentración que conlleve a la reducción del consumo de agua, de tal manera que se pueda considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores de las UPM.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de chile, 2002)[163]. En este caso sólo se utiliza agua superficial, como una alternativa de mejoramiento en el funcionamiento de la UPM y por tanto cuando se vea deficiencia en el agua superficial,

[163] Gobierno de chile. (2002). Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002.

se puede instalar tuberías que transporten el recurso hídrico de bocaminas y ser otra opción para abastecimiento del recurso hídrico.

b. Grupo 2

Conformado por las UPM 19780O02, 19256O08 y 19256O07, se caracterizan por mandar recurso hídrico sólo al proceso de beneficio, proveniente de fuentes subterráneas y desarrollan un tipo de minería subterránea aurífero. Para este grupo se plantean prácticas que optimicen el uso/consumo del recurso hídrico en cada una de las UPM. Estas prácticas están encaminadas a optimizar el uso del recurso hídrico en cada UPM y estarán sujetas a la reducción de la fuente de abastecimiento principal y aprovechamiento de otras fuentes que servirán con alternativas para optimizar la demanda de agua.

UPM 19780O02: El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea (Bocamina abandonada). La demanda de agua de la UPM 19780O02 es de 113,28 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda y concentración, siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 6 horas/día; la cantidad de material procesado es de 7.2 toneladas/mes, obteniendo una relación de 15,7 m^3 agua /tonelada de material procesado.

UPM 19256O07: El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea (Bocamina abandonada). La demanda de agua de la UPM 19256O07 es de 133,46 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración e hidrometalurgia siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. Cabe señalar que el agua utilizada en la etapa de hidrometalurgia del proceso de beneficio reutiliza el agua por un tiempo de 2 años. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 8 horas/día; la cantidad de material procesado es de 24 toneladas/mes, obteniendo una relación de 5,6 m^3 agua /tonelada de material procesado.

UPM 19256O08: La UPM 19256O08 desarrolla un tipo de minería subterránea del mineral aurífero. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea (Bocamina abandonada). La demanda de agua de la UPM 19256O08 es 179,27 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración e hidrometalurgia siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 8 horas/día; la cantidad de material procesado es de 28 toneladas/mes.

Debido a las observaciones de la UPM se tienen en cuentan las siguientes buenas prácticas y acciones para optimizar el uso del recurso hídrico:

- Mejorar el sistema de captación de agua y el de almacenamiento, debido a que las tuberías se notan en estado regular y se observa mucho desperdicio del recurso hídrico, por lo tanto si es posible se puede considerar otro tipo de almacenamiento para aprovechar la mayor cantidad de agua posible.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico. Se necesita controlar las fuentes para mantener unas buenas condiciones físicas y en caso que no sea así, utilizar otro tipo de fuente para el funcionamiento del proceso de beneficio.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico, es otra alternativa de abastecimiento y ser utilizado para lo que se requiera.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. Se puede realizar obteniendo nuevamente el agua que llega al tanque de sedimentación y tener un almacenamiento para ser reutilizado dentro del proceso, de esta manera se considera como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores, es una buena práctica para almacenar el agua.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de chile, 2002.)[164]. Otra de las fuentes de abastecimiento consideradas es el agua lluvia que pueda ser obtenida y almacenada o utilizar el agua recirculada de los procesos después de pasar por el tanque de sedimentación.

c. Grupo 3

Las UPM desarrollan un tipo de minería subterránea aurífero y está conformado por las UPM 19256O09, 19256O06 y 19110O04, se caracterizan por demandar recurso hídrico

[164] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002.

al proceso de beneficio y para uso doméstico. Utilizan agua subterránea para el beneficio y en ocasiones agua superficial y agua superficial para el uso doméstico. Se plantean estrategias de forma que su ejecución optimice el uso y consumo del recurso hídrico en cada UPM. Es por esto que serán encaminadas en aprovechar el recurso hídrico al máximo y ejecutar acciones que se encaminen a la optimización de la demanda de agua en cada UPM.

UPM 19256O09: Se encuentra en el municipio del Tambo. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea (Bocamina). La demanda de agua de la UPM 19256O09 es de 2638,92 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración, clasificación e hidrometalurgia siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 24 horas/día; la cantidad de material procesado es de 288 toneladas/mes, obteniendo una relación de 9,2 m^3 agua /tonelada de material procesado.

UPM 19256O06: También pertenece al municipio del Tambo. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea (Bocamina). La demanda de agua de la UPM 19256O06 es de 841,08 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración e hidrometalurgia siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 24 días del mes con una intensidad horaria de 8 horas/día; la cantidad de material procesado es de 144 toneladas/mes, obteniendo una relación de 5,8 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Ilustración 29. Caudal de entrada UPM 19256O06

UPM 19110O04: Ubicada en el municipio de Buenos Aires. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea y en ocasiones de agua superficial. La demanda de agua de la UPM 19110O04 es de 3282,48 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda y concentración, siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 25 días del mes con una intensidad horaria de 16 horas/día; la cantidad de material procesado es de 750 toneladas/mes, obteniendo una relación de 4,4 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Debido a las observaciones de la UPM se tienen en cuentan las siguientes buenas prácticas y acciones para optimizar el uso del recurso hídrico:

De acuerdo a las observaciones de las UPM se tienen en cuentan las siguientes buenas prácticas y acciones para optimizar el uso del recurso hídrico:

- Mejorar el sistema de captación de agua y el de almacenamiento, controlando las tuberías e identificando las fugas existentes, de igual manera realizar mantenimiento en los tanques o albercas de almacenamiento.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico. De esta manera se tiene conocimiento de las características físicas que posee el agua utilizada en el proceso y que tan eficiente puede ser para su utilización.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico, con el propósito de aprovechar el recurso y abastecerse en caso de sequías en la zona.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua, para los procesos de molienda al ser llevados a un tanque de sedimentación donde se puedan retirar las arenas y el agua pueda volver al proceso, también en el proceso de cianuración en las UPM 19256O06 y 19256O09 es importante la optimización que tiene el agua en ser recirculado por periodos de tiempo largos, por lo tanto hay que demostrar por cuánto tiempo se puede recircular dependiendo la frecuencia con la que lo hacen.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso

Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002.). Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores

d. Propuestas a UPM individualmente

UPM 19110O03: La UPM 19110O03 desarrolla un tipo de minería subterránea aurífero. El agua que se utiliza para el proceso de beneficio es captada de una fuente de abastecimiento subterránea, de una quebrada cercana y de agua lluvia. La demanda de agua de la UPM 19110O03 es de 8984,75 m^3/mes, donde las etapas del proceso de beneficio que demandan agua son molienda, concentración, clasificación, hidrometalurgia y consumo humano, siendo la concentración la etapa del proceso que presenta mayor demanda. En esta UPM se laboran 30 días del mes con una intensidad horaria de 24 horas/día; la cantidad de material procesado es de 6000 toneladas/mes, obteniendo una relación de 1,5 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Con base a las observaciones de la UPM se recomienda seguir con la iniciativa de recircular el recurso hídrico, y se deben tener en cuenta las recomendaciones generales para todas las UPM visitadas en el Departamento de Cauca.

e. Propuestas Generales

Además de las anteriores buenas prácticas y acciones para optimizar el uso del recurso hídrico en cada una de las UPM, se tiene en cuenta las siguientes buenas prácticas y acciones generales para todas las UPM:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes; este estudio permite identificar y evaluar los cursos de agua en época de lluvia y estiaje además permitirá la identificación de los impactos que generarían las operaciones mineras sobre las cuencas.

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico (CORNARE, 2014)[165]. Esto se debe realizar frecuentemente para entender la importancia que tiene esta alternativa en los procesos de beneficio de las UPM del Departamento del Cauca.

- Colocar medidores de caudal en la entrada, salida y recirculación con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso. (Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006)[166].

- Optimizar el método de suministro del agua en cada una de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. 2014)[167] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso. Es una buena práctica para el ahorro del agua y mantener un control interno dentro de las UPM que evidencien el buen uso del recurso hídrico.

- Realizar monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinarias, equipos e implementos de trabajo. Como alternativa para reducir los tiempos de demanda de agua en el lavado de máquinas, se realiza previo un lavado en seco, limpiado la cantidad de sólidos que se tenga en las máquinas y luego seguir con el lavado húmedo.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado.

[165] Corporación Autónoma de las Cuencas de los ríos Negro-Nare CORNARE. Memorias Fenómeno del Niño – Acciones para la conservación uso eficiente y ahorro del agua en la región CORNARE. 21 de julio 2014
[166] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006. El agua en la industria minera mexicana. Parte 1 Balances de materia en una empresa cooperante.
[167] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de Junio de 2014

- Realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reúso en cada una de las UPM.

- Definir planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de la UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico. Someterlos a simulacros (Agencia Nacional de Minería, (2014)[168].

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[169].

  Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

2.1.1.4 Distrito minero de Marmato (Caldas)

El distrito minero de Marmato lo componen 3 municipios, 2 pertenecientes al departamento de caldas (Supía y Marmato) y 1 perteneciente al departamento de Risaralda (Quinchía), se incluyó para el estudio, el municipio de Rio sucio aunque no se encuentra registrado dentro de la base de datos del distrito; fueron visitadas 10 unidades de producción minera (UPM), las cuales explotan las vetas auríferas de la zona mediante

[168] Agencia Nacional de Minería. (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26.
[169] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

minería subterránea, implementando así métodos de explotación de acuerdo a las características que tenga cada deposito.

Teniendo en cuenta que las características de cada una de las UPM en su mayoría son diferentes como fuente de abastecimiento, procesos unitarios implementados, tiempo de funcionamiento, entre otras, las prácticas recomendadas a continuación se realizaran de manera particular a cada una de las UPM, otras se agruparan en 2 grupos y al final se realizaran unas recomendaciones de generales para todas las UPM.

a. UPM 17442O01:

Ubicada en el municipio de Marmato, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la quebrada Obispo y el agua de reuso de sus procesos; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, clasificación, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, todos estos proceso utilizan agua, adicional a esto, en esta UPM se registra un consumo de agua para consumo humano (cocina, baño y lavado de manos); generando así una demanda de 2427,04m^3/mes, para procesar 520 toneladas, laborando 26 días al mes, 20 horas por día, obteniendo una relación de 4,67 m^3 agua/tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes[170].

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo, al reducir los tiempos de uso y manteniendo el caudal, de manera directa se reduce la demanda de agua: esta UPM cuenta con 20 empleados que realizan labores domésticas como lavado de manos, lavado de implementos de cocina y regadera de baño, se sugiere disminuir el tiempo en que los mineros duran realizando estas labores para optimizar el uso del

[170] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

recurso; en el caso de lavado de maquinaria, se propone disminuir la demanda actual (96m^3) utilizada para el lavado de los tanques de cianuración.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a la fuente de abastecimiento de agua para la UPM y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico de la misma; a la UPM Curubital se le propone realizar este mantenimiento a la quebrada Obispo para conocer las características (caudal, color, turbidez, olor, entre otras) del agua que es utilizada para el beneficio del mineral y tratar de mantener en óptimas condiciones la fuente de abastecimiento.

b. UPM 17442O03:

La UPM La leona se encuentra ubicada en el municipio de Marmato, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la quebrada San Jorge; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, clasificación, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, todos estos proceso utilizan agua; generando así una demanda de 2393,76m^3 al mes, para procesar 728 toneladas, laborando 26 días al mes, 18 horas por día, obteniendo una relación de 3,29 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes[171].

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua: con el fin de disminuir la demanda de agua generada a la fuente de abastecimiento.

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo: en esta UPM se sugiere

[171] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

tener en cuenta la demanda de agua utilizada en el lavado de maquinarias, específicamente del lavado de los tanques de cianuración, debido que se tiene estipulada una cierta cantidad agua ($40m^3$) para este fin, que con un mejor uso se puede reducir.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a la fuente de abastecimiento de agua para la UPM y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico de la misma; a la UPM 17442O03 se le propone realizar este mantenimiento a la quebrada San Jorge para conocer las características (caudal, color, turbidez, olor, entre otras) del agua que es utilizada para el beneficio del mineral y tratar de mantener en óptimas condiciones la fuente de abastecimiento.

- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores: esto con el fin de reutilizar el recurso, tener una fuente alternativa de suministro de agua y disminuir la captación de agua de la fuente superficial para el proceso de beneficio del mineral; Se puede utilizar esta agua, si se tiene implementado un buen sistema de lagunas o sedimentadores.

c. UPM 17442O04:

La UPM 17442O04 se encuentra ubicada en el municipio de Marmato, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la proveniente del vertimiento de otra UPM, la extraída de una bocamina y el agua de reúso de sus procesos; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, clasificación, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, todos estos proceso utilizan agua; generando así una demanda de $5748,70m^3$ al mes, para procesar 702 toneladas, laborando 26 días al mes, 24 horas por día, obteniendo una relación de 8,19 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuícludos, acuítardos y acuífugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas[172].

[172] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo: en esta UPM se sugiere tener en cuenta la demanda de agua utilizada en el lavado de maquinarias, específicamente del lavado de los tanques de cianuración, debido que se tiene estipulada una cierta cantidad agua (96m^3) para este fin, que con un mejor uso se puede reducir.

d. UPM 17442O08:

La UPM 17442O08 se encuentra ubicada en el municipio de Marmato, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la proveniente del vertimiento de otra UPM y la extraída de una bocamina; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, con excepción de la trituración, los demás proceso utilizan agua; generando así una demanda de 505,62m^3 al mes, para procesar 60 toneladas, laborando 30 días al mes, 24 horas por día, obteniendo una relación de 8,43 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuícludos, acuítardos y acuífugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas[173].

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua: con el fin de disminuir la demanda de agua generada a la fuente de abastecimiento.

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo: en esta UPM se sugiere tener en cuenta la demanda de agua utilizada en el lavado de maquinarias, más específicamente del lavado de los tanques de cianuración, debido que se tiene estipulada una cierta cantidad agua para este fin.
- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores: esto con el fin de reutilizar el recurso, tener una fuente alternativa de suministro de agua y

[173] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

disminuir la captación de agua de la fuente superficial para el proceso de beneficio del mineral; Se puede utilizar esta agua, si se tiene implementado un buen sistema de lagunas o sedimentadores.

e. UPM 17614O07:

La UPM 17614O07 se encuentra ubicada en el municipio de Rio sucio, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la proveniente de la quebrada San Sebastián; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda y concentración, para el beneficio del mineral, con excepción de la trituración, los demás proceso utilizan agua; generando así una demanda de 919,36m^3 al mes, para procesar 104 toneladas, laborando 26 días al mes, 17 horas por día, obteniendo una relación de 8,84 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes[174].

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua: con el fin de disminuir la demanda de agua generada a la fuente de abastecimiento.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a la fuente de abastecimiento de agua para la UPM y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico de la misma; a la UPM 17614O07 se le propone realizar este mantenimiento a la quebrada San Sebastián para conocer las características (caudal, color, turbidez, olor, entre otras) del agua que es utilizada para el beneficio del mineral y tratar de mantener en óptimas condiciones la fuente de abastecimiento.
- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores: esto con el fin de reutilizar el recurso, tener una fuente alternativa de suministro de agua y disminuir la captación de agua de la fuente superficial para el proceso de beneficio del

[174] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

mineral; Se puede utilizar esta agua, si se tiene implementado un buen sistema de lagunas o sedimentadores.

f. UPM 17614O10:

La UPM 17614O10 se encuentra ubicada en el municipio de Rio sucio, tiene como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la extraída de su bocamina; cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda y concentración, para el beneficio del mineral, con excepción de la trituración, los demás proceso utilizan agua; generando así una demanda de 491,09m^3 al mes, para procesar 26 toneladas, laborando 26 días al mes, 8 horas por día, obteniendo una relación de 18,89 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuícludos, acuítardos y acuífugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas[175].

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua: con el fin de disminuir la demanda de agua generada a la fuente de abastecimiento.

- Considerar como un reservorio de aguas las lagunas y/o sedimentadores: esto con el fin de reutilizar el recurso, tener una fuente alternativa de suministro de agua y disminuir la captación de agua de la fuente superficial para el proceso de beneficio del mineral; Se puede utilizar esta agua, si se tiene implementado un buen sistema de lagunas o sedimentadores.

g. Grupo 1

Las UPM 17442O05 Y 17442O09: Las UPM 17442O05 y 17442O09 se encuentran ubicadas en el municipio de Marmato, tienen como fuente de abastecimiento de agua

[175] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011

para sus procesos la proveniente del vertimiento de otra UPM y el agua de reúso de sus procesos.

La UPM 17442O05 cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, clasificación, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, todos estos proceso utilizan agua; generando así una demanda de 4078,66m^3 al mes, para procesar 728 toneladas, laborando 26 días al mes, 24 horas por día, obteniendo una relación de 5,60 m^3 agua /tonelada de material procesado.

La UPM 17442O09 cuenta con procesos unitarios como trituración, molienda, concentración e hidrometalurgia, para el beneficio del mineral, con excepción de la trituración, los demás proceso utilizan agua; generando así una demanda de 1239,38m^3 al mes, procesar 208 toneladas, laborando 26 días al mes, 24 horas por día, obteniendo una relación de 5,96 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Por lo anterior se sugiere implementar la siguiente práctica para optimizar el recurso hídrico en estas UPM:

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo: para estas UPM se sugiere tener en cuenta la demanda de agua utilizada en el lavado de maquinarias, específicamente del lavado de los tanques de cianuración, debido que se tiene estipulada una cierta cantidad agua (40 m^3 UPM 17442O09 y 64 m^3 UPM 17442O05) para este fin, que con un mejor uso se puede reducir.

h. Grupo 2

Las UPM 17614O06 Y 17442O02: se encuentran ubicadas en el municipio de Rio sucio y Marmato respectivamente, tienen como fuente de abastecimiento de agua para sus procesos la quebrada San Sebastián para la UPM 17614O06 y la quebrada La llorona para la UPM 17442O02, Adicional a la captación de la fuente superficial, cuentan el agua de reúso de sus procesos.

Las UPM tienen procesos unitarios como trituración, molienda, clasificación y concentración, para el beneficio del mineral, todos estos proceso utilizan agua; generando así una demanda de 2862,08m^3/mes para procesar 208 toneladas, laborando 26 días al mes, 16 horas por día, obteniendo una relación de 13,76 m^3 agua /tonelada de material procesado, en la UPM 17614O06 y 523,75m^3/mes para procesar 200 toneladas, laborando 20 días al mes, 12 horas por día, obteniendo una relación de 2,62 m^3 agua /tonelada de material procesado, en la UPM 17442O02.

Por lo anterior se sugiere implementar las siguientes prácticas para optimizar el recurso hídrico en estas UPM:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes[176].

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a la fuente de abastecimiento de agua para la UPM y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico de la misma; a la UPM 17614O06 se le propone realizar este mantenimiento a la quebrada San Sebastián y la UPM 17442O02 a la quebrada la llorona; para conocer las características (caudal, color, turbidez, olor, entre otras) del agua que es utilizada para el beneficio del mineral y tratar de mantener en óptimas condiciones la fuente de abastecimiento.

i. Propuestas generales

Adicional a estas propuestas de mejores prácticas o acciones para optimizar el uso del recurso hídrico en cada una de las minas visitadas; se implementaran las siguientes en todas las UPM:

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico[177]: con el fin de darle a los dueños y empleados de las UPM, las herramientas para realizar un buen trabajo, ahorrando o disminuyendo el uso del recurso hídrico. Así como concientizar al personal de la importancia de proteger este preciado recurso.

- Definir planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de la UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico[178]: para que las UPM estén en la capacidad de responder ante cualquier eventualidad que se le presente a lo largo de los procesos unitarios que se aplican para el beneficio del mineral o de actividades

[176] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011
[177] Corporación Autónoma de las Cuencas de los ríos Negro-Nare CORNARE. Memorias Fenómeno del niño – acciones para la conservación uso eficiente y ahorra del agua en la región CORNARE. 21 de julio de 2014
[178] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26

domésticas; Eventualidades como: escases del recurso hídrico, problemas con la fuente principal de abastecimiento, ruptura de tuberías, entre otras.

- Realizar periódicamente monitoreo de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reuso: con el fin de establecer si la fuente de agua que se está utilizando para el proceso de beneficio, es la adecuada y no contenga sustancias que puedan obstruir o afectar las actividades realizadas dentro de la UPM. Este monitoreo es requerido cada cierto periodo de tiempo por la autoridad ambiental.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal[179]: toda UPM debe contar con al menos una fuente de abastecimiento de agua alterna, a la utilizada en su proceso de beneficio, para que en caso de tener problema (escases, contaminación, obstrucción de caudal, características inadecuadas, entre otras) evitar que este se vea afectado.

- Colocar medidores de caudal en la entrada, salida y recirculación con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso[180]: cada UPM deberá instalar estos dispositivos para realizar un control periódico de la demanda de agua extraída de la fuente de abastecimiento, que cumpla con la cantidad permitida por la autoridad ambiental pertinente. También se implementaran para conocer qué porcentaje de agua se está recirculando al proceso y por ende cuanto se está ahorrando.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada uno de los procesos, instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones[181]y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso; esto permitirá tener un ahorro en la demanda de agua utilizada para el beneficio del mineral, debido a que no se presentaran fugas, derrames, escapes, o pérdidas masivas del recurso hídrico.

- Realizar monitoreo periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados

[179] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. Pág 51.
[180] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006. El agua en la industria minera mexicana. Parte 1 Balances de materia en una empresa cooperante.
[181] Fedesarrollo y sector de la minería de gran escala. minería y medio ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de junio de 2014

en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado; para evitar fugas, desperdicio y en general una mala distribución del recurso hídrico.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia para su utilización en las operaciones de la mina o para uso doméstico: cada UPM debe implementar un sistema de captación de aguas pluviales, para tener una fuente de agua alternativa para su proceso de beneficio, para evitar su entrada a los procesos y posible contaminación o para evitar que afecte la dinámica del proceso de beneficio del mineral.

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[182].

  Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

[182] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

2.1.1.5 Distrito minero de Istmina (Choco)

En el distrito minero de Istmina, y se le adiciona los municipio de Río Quito y Novita a este según indicación de (Minminas & Ingeominas, 2003, pág.52) que cobija el departamento de Choco, se visitaron 6 UPM identificadas con los códigos 27205O01, 27491O02, 27491O03, 27600O04, 27600O05 y 27600O06. Estas se caracteriza por su alta disponibilidad al recurso hídrico, representado en las condiciones particulares de alta pluviosidad, oscilante entre 8000-11.000mm anuales[183], razones por la cual el agua es un insumo estratégico, de bajo costo y no representa un problema, hablando en términos de disponibilidad, para el sector. Por lo tanto, esta situación de sobreoferta, ha motivado al sector minero al uso indiscriminado del recurso, originando problemas en términos de calidad de los vertimientos originados dentro del proceso productivo al no sentir la necesidad de tratarlos o disponerlos adecuadamente y por ende no contar con ningún tipo de sistema o estrategias que permitan una adecuada disposición final de los mismos, antes de ser descargados a las fuentes de agua natural cercanas a las minas.

La minera del departamento de choco se caracteriza por la explotación de depósitos aluviales a cielo abierto implementando un método de explotación de minería de subsistencia. Es por ello y debido al tipo de métodos de explotación, operaciones unitarias y uso del recurso hídrico que se utiliza en el distrito que se pueden dividir en dos grupos de minas para los cuales se propondrán mejores prácticas para el correcto aprovechamiento del recurso hídrico. En ambas el consumo humano también representa una actividad de uso y vertimiento de agua.

a. Grupo 1

Las UPM pertenecientes a este grupo son: 27205O01, 27491O02, 27491O03, y utilizan el método explotación de terrazas aluviales por medio de excavadoras tipo retroexcavadoras y buldóceres para la extracción del material. En ellas los procesos de beneficio se mantienen constante y constan de una clasificación y concentración gravimétrica, mientras que la demanda del recurso hídrico contempla la etapa de beneficio y consumo humano. En todas las UPM que utilizan este método de explotación y beneficio minero, la demanda de agua es abastecida de aguas lluvias, arroyos e infiltraciones; mientras que los vertimientos son descargados a fuentes de agua natural.

[183] PA “Plan de Acción Institucional de Chocó”. 2012 – 2015.

En la 27205O01, localizada en el casco urbano del municipio de Condoto, y tiene como fuente de explotación la minería aluvial a cielo abierto. Los procesos de beneficio que tiene lugar en la mina son: clasificación y concentración. El recurso hídrico se utiliza principalmente en la etapa de beneficio y consumo humano, con una demanda de 432491,45 m^3 mensuales para procesar 71385,6 m^3 de material, laborando 26 días al mes, 22 horas al día, obteniendo una relación 6,06 m^3 de agua /m^3 de material; siendo el proceso de mayor uso el de clasificación. El agua utilizada en la mina es principalmente de lluvia, en aprovechamiento de las condiciones climatológica de la región. Los efluentes producidos dentro del proyecto minero tiene como tratamiento un proceso de sedimentación y posteriormente son descargados a la quebrada los negros.

En la UPM 27491O02, a la igual que la anterior tiene como método de explotación la minería a cielo abierto de depósitos aluviales, con los procesos de beneficio que incluyen la clasificación y concentración. En cuanto al uso del recurso hídrico, es abastecido por aguas lluvias y cobijan los procesos de beneficio y consumo humano, con un promedio de 1081228,55 m^3 de agua mensuales, para procesar 284993,28 m^3 de material, laborando 26 días al mes, 22 horas al día, obteniendo una relación 3,79 m^3 de agua /m^3 de material; siendo el proceso de mayor uso el de clasificación. Las aguas residuales generadas en estos proyectos son transportados a un pozo sedimentador antes de ser vertidos a la quebrada aguas claras.

Ilustración 30. Tubería de abastecimiento

En la UPM 27491O03 se practica la minera a cielo abierto para la explotación de depósitos aluviales. Al igual que las UPM anteriores las etapas de beneficio contemplan la clasificación y concentración del material, siendo el primero el de mayor demanda de agua. El agua utilizada en la mina proviene de lluvia a razón de 843304,37 m^3/mes para procesar 247104 m^3 de material, laborando 26 días al mes, 22 horas al día, obteniendo una relación 3,41 m^3 de agua /m^3 de material; siendo el proceso de mayor uso el de clasificación. Este vertimiento es descargado en la quebrada aguas claras una ves es pasada por el proceso de sedimentación.

A continuación se consideran las mejores prácticas para las UPM visitadas que utilizan el método excavadoras tipo retroexcavadoras y buldóceres, teniendo en cuenta características y procesos utilizados.

- Realizar un estudio hidrológico de la zona de aguas, donde se contemple red hídrica detallando las cuencas, subcuencas y/o microcuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto minero. Se identificaran los ambientes lenticos y loticos en una cartografía y se presentaran análisis de disponibilidad usos y limitantes (MinAmbiente. 2011)[184].

- En las UPM se deberá tener en cuenta planes de sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico (CORNARE, 2014)[185]. Adicional la información sobre el recurso hídrico, cantidad y calidad de agua captada y vertida deberá ser divulgada a las comunidades aledañas al proyecto minero y a los trabajadores de las UMP, mediante charlas, talleres y capacitaciones. En el caso específico de la UMP Medio mundo en Condoto, por encontrarse dentro del casco urbano del municipio, se debe tener muy en cuenta la socialización de la información con los habitantes del sector, por ser ellos los directos afectados con el proyecto.

- Hacer mejoras en el sistema de almacenamiento de agua, impermeabilizando los pozos o jagüey donde se almacenan las aguas lluvias para su posterior uso.

- Colocar medidores y llevar un registros escrito de caudal en la entrada y salida del sistema de captación, distribución y vertimiento de aguas, con el fin de conocer

[184] Ministerio de Ambiente. 2011. Términos de referencia sector minería, estudio de impacto ambiental proyectos de explotación minera. Bogotá, D.C.
[185] Cornare. 2014. Acciones para la conservación, uso eficiente y ahorro del agua en la región CORNARE.

exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso y regular su uso (Tecnología. 2006)[186].

- Optimizar el método de suministró del agua, colocar válvulas de regulación en las tuberías de captación para el suministro del agua en cada proceso e instalar dispositivos ahorradores de agua (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. 2014)[187], principalmente en el proceso de clasificación que es donde se requiere una mayor demanda del recurso.

- A las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico dentro de las UPM estudiadas y zonas aledañas se les deberá realizar un mantenimiento preventivo y de control, que incluya la limpieza, desmonte, control y acondicionamiento, con el fin de tener un conocimiento del estado físico.
- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico, donde se incluyan tuberías, válvulas, canales y sistemas de almacenamiento, para determinar su estado y tomar los correctivos necesarios en aquellos donde se observe desgaste, se presenten fugas o mal estado, en caso de ser necesario o persistir los problemas en los equipos se deberás realizar cambios de los mismos.

- Las lagunas de sedimentación utilizadas actualmente como único sistema tratamiento de agua dentro de las UPM, se recomienda que sean impermeabilizadas con geomembrana u otro tipo de material, para considerar su efluente como un reservorio para una posible recirculación de las aguas.

- Reducir los tiempos de demanda de agua en diferentes etapas donde se requiere su uso como, el consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo, haciendo el lavado periódicamente y con la menor cantidad de agua. Además se deber darle capacitación técnica a los mineros para el uso eficiente del recurso.

- Realizar periódicamente monitoreo de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reúso; teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la resolución 0631 de 2015.

[186] Tecnología. 2006. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102.
[187] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. 2014. Minería y medio ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de Junio.

- Conociendo los caudales de entrada y salida de cada uno de los procesos a través de monitoreos regulares a la demanda del recurso hídrico, se observaran que variables afectan el aumento del recurso y se tomaran correctivos planteando estrategias para optimizar esa demanda.

- Definir planes de emergencia y contingencia a lo largo de las UPM relacionadas con el uso y consumo del recurso hídrico. Someterlos a simulacros (AGENCIA NACIONAL MINERA. 2014)[188]. Planes en los sistemas de abastecimiento y control en caso de fugas, plan de manejo en caso de contaminación de cuerpos de aguas o infiltración, y fuentes alternativas de abastecimiento en caso de verano o sequía.

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[189].

  Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

b. Grupo 2

Las UPM que hacen parte de este grupo son 27600O04, 27600O05 y 27600O06. En ella se utilizan como método de explotación de dragado mediante el uso de dragas de

[188] Agencia nacional minera. 2014. Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9
[189] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

succión, y en la etapa de beneficio se implementan los procesos de clasificación, pre-concentración y concentración gravimétrica, donde se utiliza mercurio o azogue, para la separación y recuperación del oro. Los vertimientos originados dentro del proceso minero se dan en las etapas beneficio y consumo humano, y son descargados directamente al rio Quito donde funciona la UPM y se extrae el material de interés.

Para el caso específico de estas UPM, al encontrarse sobre el lecho del rio Quito hacen caso omiso a la Ley 685 de 2001 capitulo 3 articulo 34 y 35, donde se nombran las zonas excluibles y restringidas de la minería y se restringen los trabajos y obras de exploración y explotación mineras. De conformidad con la ley, y teniendo en cuenta la ilegalidad de estas unidades de producción minera visitadas, a pensar de encontrarse dentro de un título minero, no se sugieren mejores prácticas o estrategias de vertimientos para las UPM por dragas de succión.

2.1.2 Minería de Carbón

2.1.2.1 Distrito minero de Zipa - Samacá

En el distrito minero de Zipa-Samacá, se visitaron 11 UPM, ubicadas en el departamento de Cundinamarca y Boyacá, 9 UPM ubicadas en los municipios de Guachetá, Cucunubá y Lenguazaque en Cundinamarca, y 2 UPM pertenecientes a los municipios de Ráquira y Samacá en Boyacá. Estas UPM se caracterizan por ser subterráneas, el común denominador es que el recurso hídrico solo es utilizado en labores domésticas para abastecer las necesidades del personal que labora en la mina y en 3 UPM (25317C09, 25317C07 y 25224C03) en humectación del patio de acopio o riego de vías para la supresión de polvo (material particulado).

De acuerdo a las características de explotación del material y la similitud en el uso del recurso hídrico (uso doméstico y humectación), las propuestas se realizan teniendo en cuenta tres grupos de minas. Dos grupos de minas que solo demandan recurso hídrico para uso doméstico y un tercer grupo que demandan recurso hídrico para la humectación del carbón o humectación para la supresión de polvo.

a. Grupo 1

Conformado por las minas 25317C08, 25317C06, 25224C02, 25224C01 y 15646C02, se caracteriza por que las UPM demandan recurso hídrico solo en necesidades domésticas y la fuente de abastecimiento son acueductos, para este grupo se plantean prácticas colectivas de forma que su implementación optimice el uso/consumo de recurso hídrico

en cada UPM. Estas prácticas estarán encaminadas a reducir y/o aprovechar el recurso hídrico así como la definición y ejecución de acciones tendientes a optimizar la demanda de agua en cada UPM.

UPM 25317C08: En esta UPM se usa/utiliza recurso hídrico solo en actividades domésticas, para el suministro de las duchas y baños. El edificio administrativo y el casino, en conjunto cuentan con 6 unidades sanitarias y 4 duchas, el suministro de agua de todas las unidades de demanda de agua en las oficinas administrativas y casino proviene del acueducto regional No. 1 del municipio de Guachetá. El agua suministrada por el acueducto regional No. 1, llega hasta un tanque elevado con capacidad de almacenamiento de 5 m^3, el cual distribuye mediante tubería de ½ pulgada a las unidades sanitarias. La demanda mensual de recurso hídrico de esta UPM es de 63 m^3 para una producción mensual de 2300 toneladas, laborando 30 días al mes, 24 horas diarias, obteniendo una relación de 0,027 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.
UPM 25317C06: En esta UPM solo se utiliza recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de las duchas y baños. El edificio administrativo-casino cuenta con 3 duchas y 2 letrinas. El suministro de agua de todas las unidades de demanda en las oficinas administrativas y casino proviene del acueducto regional No. 2 del municipio de Guachetá, el agua suministrada por el acueducto abastece directamente a las duchas y las letrinas. La mina utiliza en labores domésticas una cantidad de 510 litros de agua día, en total se demanda mensualmente en labores domésticas 12,75 m^3 para una producción mensual de 300 toneladas, laborando 25 días al mes, 8 horas diarias, obteniendo una relación de 0,043 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 25224C02: Solo se demanda recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de los baños. En conjunto el casino y las oficinas administrativas cuentan con 3 unidades sanitarias. El suministro de agua de todas las unidades de demanda de agua en el casino y locaciones administrativas proviene por abastecimiento del acueducto Sucuneta. Para el almacenamiento se utilizan 4 tanques elevados, 2 con capacidad individual de 2 m^3 y 2 con capacidad individual de 1 m^3, en total la mina tiene la capacidad para almacenar 6 m^3. La demanda total del este proyecto minero es de 750 litros por día, y se opera de forma continua durante 20 días en el mes, 16 horas diarias, con una demanda mensual de agua de 15 m^3 para una producción mensual de 800 toneladas, obteniendo una relación de 0,019 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 25224C01: Solo se demanda recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de los baños. En conjunto el casino y las oficinas administrativas cuentan con 8 unidades sanitarias con ducha. El suministro de agua de todas las unidades de demanda de agua en el casino y locaciones administrativas proviene por abastecimiento del acueducto Sucuneta. Para el

almacenamiento se utilizan 3 tanques elevados con capacidad individual de almacenamiento de 2 m^3, en total la mina puede almacenar 6 m^3. La demanda de agua de este proyecto minero es de 3600 litros día, se opera de forma continua durante los 30 días del mes, 16 horas diarias, con demanda mensual de 108 m^3 de agua, para una producción mensual de 4000 toneladas, obteniendo una relación de 0,027 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 15646C02: Solo se utiliza recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de las duchas y baños. El casino cuenta con 2 unidades sanitarias con duchas. El suministro de agua de todas las unidades de demanda en el casino proviene del acueducto veredal Rosa Limpia. La demanda total del este proyecto minero es de 540 litros día, la mina opera de forma continua durante los 30 días del mes, 8 horas diarias, con demanda mensual de 16,2 m^3 de agua y producción mensual de 600 toneladas, obteniendo una relación de 0,030 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

Se proponen las siguientes prácticas para optimizar el uso del recurso en las minas del grupo 1:

- Actualmente en las minas antes descritas, el abastecimiento para las unidades sanitarias proviene de acueductos regionales. Se recomienda implementar un modelo de recirculación de agua en las operaciones unitarias posibles (abastecimiento de baños y duchas), que conlleve a la reducción del consumo de agua. Es por ello, que se recomienda la reutilización de las aguas extraídas desde el fondo del socavón, reduciendo la cantidad de agua demandada actual desde los acueductos regionales.

- Los sedimentadores y lagunas en cada UPM como unidades de tratamiento, pueden ser considerados como un reservorio de aguas y se propone el aprovechamiento de este recurso desde estas estructuras para otros usos en el interior o exterior de la mina, tal como se describió en el ítem anterior.

- Se recomienda que las minas de este grupo establezcan otras fuentes de abastecimiento de agua, en caso de que se vea afectada la principal fuente de abastecimiento[190] (acueducto), el aprovechamiento de las aguas de mina extraídas, sería la mejor forma de optimizar el uso del recurso hídrico, para evitar su vertimiento. Así mismo, la posibilidad de explotar las aguas subterráneas, mediante el uso de

[190] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002.

pozos profundos y la captación de aguas lluvia, podría en situaciones de emergencia o contingencia abastecer las necesidades de las minas.

b. Grupo 2

Conformado por las minas 25407C05, 25407C04 y 15600C01, se caracterizan por demandar recurso hídrico solo para abastecer las necesidades domésticas y la fuente de abastecimiento son aguas subterráneas o superficiales. Para este grupo se plantearan prácticas colectivas de forma que su implementación optimice el uso/consumo de recurso hídrico en cada UPM. Estas prácticas estarán encaminadas a reducir y/o aprovechar el recurso hídrico así como la definición y ejecución de acciones tendientes a optimizar la demanda de agua en cada UPM.

UPM 25407C05: Se abastece del agua subterránea extraída (agua de mina) desde uno de los dos socavones con que cuenta la mina, para suplir las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, para el suministro de las duchas y baños. El casino-Admón cuenta con 2 unidades sanitarias con duchas. La demanda total del este proyecto minero es de 450 litros día, la mina opera 25 días al mes, 8 horas diarias, con demanda mensual de 11,25 m^3 y producción mensual de 500 toneladas, obteniendo una relación de 0,023 m^3 de agua por tonelada de carbón extraída.

UPM 25407C04: Se abastece de una vivienda ubicada en predios colindantes, que a su vez se abastece de una quebrada, para suplir las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de las duchas y baños. El casino-Admón cuenta con 2 unidades sanitarias con duchas. El caudal medido de suministro es de 0,16 litros por segundo (l/s), el cual es suministrado por gravedad hasta un tanque elevado ubicado en el edificio del casino con capacidad de ½ m^3. La demanda total del este proyecto minero es de 1050 litros día, la mina opera durante 25 días en el mes, 16 horas diarias, con demanda mensual de 26,25 m^3 y producción mensual de 1500 toneladas, obteniendo una relación de 0,018 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 15600C01: Se abastece para las necesidades domésticas, del agua de mina de un socavón de una mina colindante, estas aguas son utilizadas/usadas en el suministro de las duchas y baños. El edificio administrativo-casino cuenta con 4 duchas y 2 unidades sanitarias. El almacenamiento del agua de mina es en un tanque de 10 m^3 para abastecer las necesidades domésticas. La demanda de agua de este proyecto minero es de 3090 litros/día, la mina opera durante 25 días en el mes, 16 horas a la semana, con demanda mensual de 77,25 m^3 de agua y producción mensual de 2000 toneladas, obteniendo una relación de 0,040 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

Se proponen las siguientes prácticas para optimizar el uso del recurso en las minas del grupo 2:

- Las minas del grupo 2, se caracterizan por aprovechar las aguas captadas desde el interior del socavón (25407C05 y 15600C01) y aprovechar las aguas superficiales (25407C04), se recomienda que las minas realicen monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico para abastecer las necesidades domésticas, teniendo en cuenta que para tal fin, se propone que instalen medidores de volumen y caudal, y observar los registros de los medidores en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en las UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda. Es decir, deben cuantificar la demanda de agua actual mediante el uso de medidores.
- Se recomienda que la mina 25407C04, realice un mantenimiento preventivo y de control a la fuente de abastecimiento superficial, es decir a la microcuenca desde donde se capta el agua, así mismo se propone mejorar el estado de la captación debido a las condiciones físicas de la tubería y la forma de captación (gravedad). En cuanto a las minas 25407C05 y 15600C01 se propone realizar pruebas de bombeo para establecer la capacidad de aprovechamiento de las aguas subterráneas desde el fondo del socavón.

- Las minas 15600C01 y 25407C04, no utilizan los sedimentadores como posible almacenamiento de aguas para su reutilización, por lo cual se recomienda que implementen un modelo de recirculación de las aguas de mina como fuente alternativa de recurso hídrico. Sin embargo, la mina 25407C05 utiliza el agua almacenada en los sedimentadores como fuente de abastecimiento para las necesidades domesticas de la mina, lo cual reduce considerablemente la demanda por acueducto.

c. Grupo 3

Conformado por las minas 25317C09, 25224C03 y 25317C07, se caracterizan por demandar recurso hídrico para humectación del carbón y patio de tolvas. Las dos primeras realizan humectación del carbón (al patio de acopio) y la mina 25317C07 humecta para la supresión del polvo el patio de carga por tolvas, adicionalmente estas UPM también demandan recurso hídrico para bastecer necesidades domésticas. Para este grupo se plantearan prácticas colectivas de forma que su implementación optimice el uso/consumo de recurso hídrico en cada UPM. Estas prácticas estarán encaminadas a reducir y/o aprovechar el recurso hídrico así como la definición y ejecución de acciones tendientes a optimizar la demanda de agua en cada UPM.

UPM 25317C09: Se usa/utiliza recurso hídrico en actividades domésticas, para el suministro de las duchas y baños, y en la humectación del carbón almacenado en el patio de acopio. El casino está conformado por 8 unidades sanitarias con ducha, son abastecidas por la explotación de un pozo profundo ubicado 400 metros debajo de la superficie de la bocamina. Las oficinas administrativas de la mina cuentan con una unidad sanitaria, el suministro de agua de todas las unidades de demanda en las oficinas administrativas proviene del acueducto regional No. 1 del municipio de Guachetá. La demanda mensual de este proyecto minero es 1215 m^3. Discriminando, 288 m^3 obedecen a aguas subterráneas, 9 m^3 por acueducto, 918 m^3 de agua de mina para humectación del carbón, opera de forma continua durante 30 días en el mes, 24 horas diarias y producción mensual de 12000 toneladas, obteniendo una relación de 0,101 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 25224C03: Se demanda recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de los baños y para la humectación del Carbón. El casino-Admón cuenta con 9 unidades sanitarias sin ducha. El suministro de agua de todas las unidades de demanda de agua en el casino y locaciones administrativas proviene por abastecimiento del acueducto Sucuneta. El agua de mina, es conducida hasta el sistema de tratamiento que consta de un tanque sedimentador de recepción de caudal, 3 sedimentadores y una alberca de almacenamiento, desde donde se bombea el agua de mina tratada para humectar el carbón. La demanda mensual del este proyecto minero es de 360,80 m^3 de agua, opera durante 22 días en el mes, 24 horas diarias y producción mensual de 1500 toneladas, obteniendo una relación de 0,241 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

UPM 25317C07: Se demanda recurso hídrico para abastecer las necesidades domesticas del personal que labora en la mina, en el suministro de las duchas y baños y en la humectación del patio de tolvas para la supresión de polvo. El edificio administrativo-casino cuenta con 3 unidades sanitarias de las cuales 2 tienen ducha. El suministro de agua de todas las unidades de demanda en las oficinas administrativas y casino proviene del acueducto regional No. 2 del municipio de Guachetá. El agua suministrada por el acueducto regional No. 2, llega hasta un tanque elevado con capacidad de almacenamiento de 1 m^3, el cual distribuye mediante tubería de ½ pulgada las unidades sanitarias de las oficinas administrativas y casino. La demanda mensual del este proyecto minero es de 102,75 m^3 de agua, opera durante 25 días en el mes, 24 horas diarias y producción mensual de 2000 toneladas, obteniendo una relación de 0,051 m^3 de agua /tonelada de carbón extraída.

Se proponen las siguientes prácticas para optimizar el uso del recurso en las minas del grupo 3:

- La mina 25317C09 cuenta con captación subterránea, mediante pozo profundo para abastecer necesidades domesticas de la mina, por tal razón se recomienda que realice monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- En las minas 25317C09 y 25224C03, se recomienda que se implemente un modelo de recirculación del agua de mina utilizada en el patio de acopio de carbón, lo cual conllevaría a la reducción del consumo de agua.

- La mina 25317C07 actualmente humecta el patio de tolvas, para optimizar el uso del recurso se propone que esta UPM optimice el riego, cubriendo como mínimo la mitad del ancho del camino, se debe efectuar en horas de baja evaporación y de alto tráfico vehicular. También se pueden construir superficies asfálticas o realizar estabilización química de los caminos[191].

d. Propuestas Generales

Adicionalmente a las propuestas hechas particularmente, a continuación realizamos unas recomendaciones generales para optimizar el uso del recurso a todas las minas visitadas en este distrito minero:

- Se recomienda realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuifugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas[192]; este estudio busca evaluar el comportamiento del agua subterránea para diferentes escenarios del proyecto minero, con el objetivo de predecir las condiciones hidrogeológicas futuras, tanto en la etapa de exploración, construcción y montaje, explotación como en la de cierre y abandono, así mismo se pueden evitar los drenajes ácidos de mina, obteniendo un planeamiento minero adecuado de acuerdo a los resultados del modelo hidrogeológico[193].

[191] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. (p. 51)
[192] Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo. Términos de referencia para la elaboración del EIA para minería. 2011
[193] MINAMBIENTE, 2011

- Las minas de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, se propone que realicen divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico[194].

- Se recomienda que las UPM instalen medidores de caudal en la entrada, salida y recirculación con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso[195].
- Con el fin de optimizar el suministro del agua en cada una de los procesos, se pueden instalar dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones[196] y colocar válvulas de regulación en las tuberías para suministro del agua en cada proceso, lo cual reducirá la demanda actual de recurso hídrico por cada UPM.

- Las minas pueden reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo, se recomienda la recirculación de aguas en los procesos en que se pueda implementar y el aprovechamiento de las aguas de minas.

- Se recomienda que las UPM realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, subterráneas, aguas lluvias y aguas de reúso, con el objetivo de llevar el control de las calidades del recurso hídrico utilizado por cada UPM en sus procesos.

- Se propone que las UPM definan planes de emergencia y contingencias a lo largo de las operaciones de cada UPM relacionadas con el uso, consumo del recurso hídrico, estos planes una vez definidos deberán ser sometidos a simulacros[197].

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de

[194] CORNARE, 2014
[195] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006
[196] FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. MINERIA Y MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA. BOGOTA, 18 DE JUNIO DE 2014.
[197] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014.

instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[198].

Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

2.1.2.2 Distrito minero de Amaga

En el distrito minero Amagá, conformado por los municipios de Venecia, Amagá, Angelópolis, Titiribí y Fredonia, se visitaron cuatro (4) unidades de producción minera (UPM) de carbón en el municipio de Titiribí, siendo estas Las UPM 05809C03, 05809C01 y 05809C02 que realizan explotación subterránea y 05809C04 a cielo abierto. El común denominador en todas estas UPM es que no existe demanda del recurso hídrico a lo largo del proceso productivo del carbón. El agua en cada una se utiliza únicamente para consumo humano a excepción de la UPM 05809C04 que adicional a la demanda para consumo doméstico, realiza riego de vías como medida para supresión de polvos.

De las cuatro unidades de producción visitadas dos tienen como fuente de abastecimiento una fuente hídrica superficial y el resto se abastece de una fuente subterránea. En base a esto se agruparán las unidades de producción en dos grupos.

A continuación, se proponen mejores prácticas orientadas a la optimización del recurso hídrico en base a las especificaciones de funcionamiento, sistemas de distribución y demanda del recurso hídrico y de conformidad con los grupos establecidos.

a. Grupo 1

Conformado por las UPM 05809C01 y 05809C02 que se abastecen de fuente hídrica superficial. Dentro del proceso minero de extracción ninguna de las tecnologías utilizadas (martillos picadores, compresores, coches, Skip) al igual que la trituradora utilizada para

[198] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

la conminución en la etapa de beneficio, tienen un consumo de agua, ya que este proceso se realiza por vía seca, sin embargo, se usa para consumo doméstico.

La UPM 05809C01 capta agua de un nacimiento cuyo nombre no fue suministrado, del cual al mes se demanda un volumen de 218,2 m^3. El agua captada es conducida por gravedad mediante una tubería de ¾ de pulgada hasta un tanque de sedimentación (recepción de caudal) de 0,81 m^3 de capacidad. Posteriormente pasa a 3 tanques de almacenamiento, 2 de 2 m^3 de capacidad y 1 de 1 m^3 de capacidad, de donde por gravedad y mediante tubería de ¾ de diámetro suministra el agua a las unidades sanitarias y el casino. Esta UPM labora 26 días del mes; de lunes a viernes las 24 horas del día en 3 turnos, y los días sábado labora 10 horas en dos turnos, produciendo de 1500 a 2000 toneladas de carbón al mes, obteniendo una relación de 0,109 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Ilustración 31. Entrada de agua

La UPM 05809C02 usa para consumo doméstico el agua captada del nacimiento Las Pocetas del que se demanda al mes un volumen aproximado de 96,2 m^3. El agua captada es conducida por gravedad mediante una tubería de ½ de pulgada hasta tres tanques de 1,5 m^3 de capacidad cada uno donde por gravedad se distribuye el agua a las unidades sanitarias. Esta UPM labora 26 días del mes; de lunes a viernes 16 horas al día en 2 turnos, y los días sábado labora 8 horas en dos turnos, con una producción de 1200 toneladas de carbón al mes, obteniendo una relación de 0,08 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Las propuestas de mejores prácticas para optimización del recurso hídrico para estas UPM son:

- Realizar un estudio hidrológico donde se describa la red hídrica detallando las cuencas, sub cuencas y/o micro cuencas hidrográficas que cobijan las áreas de influencia directa e indirecta. Se identificaran y precisaran los ambientes lentico y loticos en la cartografía y se presentan los análisis de disponibilidad, usos, limitantes; este estudio permite identificar y evaluar los cursos de agua en época de lluvia y estiaje además permitirá la identificación de los impactos que generarían las operaciones mineras sobre las cuencas.

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico[199] (CORNARE, 2014), dirigida al conjunto de empleados que laboran en la unidad de producción con el fin de evitar desperdicios del recurso, reduciendo los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo.

- Colocar medidores de caudal en la entrada (captación), salida (unidades de labores domésticas, dado que es la única operación que demanda agua en esta UPM) con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso (Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006)[200].

- Realizar monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso en la UPM, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada uno de los procesos unitarios, instalando dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA, 2014) en este caso se instalar unidades sanitarias con bajo consumo de agua, válvulas y duchas ahorradoras; Particularmente a la UPM La Gómez, se recomienda para el sistema de captación, colocar válvulas de control de nivel y caudal con flotador en el sistema de recepción de caudal (tanque de sedimentación) para regulación de entrada de agua y evitar pérdidas de la misma.

[199] Corporación Autónoma de las Cuencas de los ríos Negro-Nare CORNARE. Memorias Fenómeno del Niño - Acciones para la conservación uso eficiente y ahorro del agua en la región CORNARE. 21 de julio 2014
[200] Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006. El agua en la industria minera mexica. Parte 1 Balances de materia en una empresa cooperante.

- Realizar un mantenimiento preventivo y de control a todas las fuentes de abastecimiento de agua para la mina y las zonas aledañas, con el fin de tener un control del estado físico. En este caso, las fuentes de abastecimiento son nacimiento; además ambas UPM vierten le agua de mina hacia la quebrada La Sucia. Para estos se proponen medidas preventivas y de control como: Establecer planes de protección mediante la siembra de especies nativas de fácil adaptación con el fin de contrarrestar desbordamientos, evitar la erosión hídrica del talud del cauce, conservar la humedad del suelo, entre otros; Establecer jornadas ambientales de limpieza de cauces, etc.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado y así evitar pérdidas en el sistema.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas, para consumo doméstico.

- Implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias posibles, que conlleve a la reducción del consumo de agua. El agua de mina extraída una vez tratada mediante sistemas de tratamiento tales como sedimentación para remoción de sólidos suspendidos, neutralización para corrección de pH, adición de floculantes y coagulantes, para la remoción de sustancias coloidales y solidos disueltos, pueden ser utilizadas para abastecer las necesidades domesticas de la mina, destinadas a la limpieza y lavado de locaciones, así como para el suministro de las unidades sanitarias.

- Considerar como un reservorio de aguas los sedimentadores con los que cuenta la UPM, ya que a partir de estos se puede recuperar y reutilizar agua.

- Como medida de contingencia, establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal[201] (Gobierno de chile. 2002.). tales fuentes pueden ser el aprovechamiento de las aguas de lluvia y las aguas de mina previamente tratadas tal como se sugirió anteriormente.

[201] Gobierno de chile. Acuerdo Marco de Producción Limpia Sector Gran Minería. Buenas Prácticas y Gestión Ambiental. Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas. Noviembre. 2002. Pág. 51.

- Realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas tanto de fuentes superficiales, en este caso nacimiento, aguas lluvias (si se llegase a implementar un sistema de captación de las mismas) y aguas de reúso. Esto con el fin de conocer si la fuente hídrica posee la calidad adecuada para su utilización en las actividades de consumo doméstico que requiere esta UPM.
- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[202].

  Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

Grupo 2

Conformado por las UPM 05809C03 y 05809C04, que se abastecen de fuente hídrica subterránea.

La UPM 05809C03 dentro del proceso minero de extracción ninguna de las tecnologías utilizadas (martillos picadores, compresores, bombas, coches, Skip) tiene un consumo de agua. Sin embargo se utiliza el recurso para actividades domésticas, cuya fuente es el agua extraída de un socavón a la que se le realiza sedimentación como tratamiento previo; de este se demanda un volumen aproximado de 25,3344 m^3 al mes. Esta UPM labora 26 días del mes, por tiempo de 8 horas al día de lunes a sábados, produciendo al

[202] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

mes 2500 toneladas de carbón, obteniendo una relación de 0,01 m^3 agua /tonelada de material procesado.

La UPM 05809C04 dentro del proceso minero de extracción ninguna de las tecnologías utilizadas (Excavadoras, retroexcavadoras, buldócer, motoniveladoras, volquetas) tiene un consumo de agua. Sin embargo, se usa agua para uso y consumo doméstico, cuya fuente es un socavón; al agua captada se le realiza sedimentación como tratamiento previo y del cual se demanda un volumen mensual de 15, 834 m^3. Adicionalmente se usa parte del agua extraída del socavón de la operación subterránea para riego de vía (supresión de polvos) utilizándose 1248 m^3 al mes para esta operación unitaria. Esta UPM labora 26 días del mes, por tiempo de 20 horas al día de lunes a sábados, con una producción de 4500 toneladas de carbón al mes, obteniendo una relación de 0,28 m^3 agua /tonelada de material procesado.

Se le propone entonces como mejores prácticas para optimización del recurso hídrico:

- Realizar un estudio hidrogeológico, donde se contemple un análisis de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrológico (acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuifugos). en caso de existir acuíferos en la zona de influencia directa del proyecto, se deberá presentar la caracterización de las aguas ; este estudio busca evaluar el comportamiento del agua subterránea para diferentes escenarios del proyecto minero, con el objetivo de predecir las condiciones hidrogeológicas futuras, tanto en la etapa de exploración, construcción y montaje, explotación como en la de cierre y abandono, así mismo se pueden evitar los drenajes ácidos de mina, obteniendo un planeamiento minero adecuado de acuerdo a los resultados del modelo hidrogeológico.

- Divulgación de información, sensibilización, capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico (CORNARE, 2014), dirigida al conjunto de empleados que laboran en la unidad de producción con el fin de evitar desperdicios del recurso, reduciendo los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo.

- Colocar medidores de caudal en la entrada (captación), salida (unidades de labores domésticas, dado que es la única operación que demanda agua en estas UPM) con el fin de conocer exactamente la cantidad de agua utilizada en el proceso. (Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ) 21(2): 96-102, 2006) y adicionalmente en la operación a cielo abierto de la UMP 05809C04 llevar un control de las cantidades de agua utilizadas por día para el riego de vías (supresión de polvos).

- Realizar monitoreos periódicos de la demanda del recurso hídrico en cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta los registros de los medidores previamente instalados

en los puntos de interés del sistema de captación y distribución del recurso, para luego proponer como optimizar esa demanda.

- Optimizar el método de suministro del agua en cada uno de los procesos unitarios, instalando dispositivos ahorradores de agua dentro de las instalaciones (FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. 2014) en este caso se instalar unidades sanitarias con bajo consumo de agua, válvulas y duchas ahorradoras.

- Realizar una inspección periódica de todo el sistema de captación y distribución del recurso hídrico en las operaciones unitarias de las UPM, para determinar el estado de tuberías, válvulas y sistemas de almacenamiento y mejorar aquellos que se encuentren en mal estado y así evitar pérdidas en el sistema.

- En épocas de lluvias realizar la captación de agua lluvia en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas, para consumo doméstico.

- Considerar como un reservorio de aguas los sedimentadores con los que cuenta la UPM, ya que a partir de estos se puede recuperar y reutilizar agua.

- Establecer otras fuentes de abastecimiento para la UPM, en caso de que se vea afectada la fuente de captación principal. (Gobierno de chile. 2002.). Unas de las fuentes a aprovechar como medida de contingencia sería las aguas de lluvia, la recuperación de aguas de mina para su reutilización.

- Realizar periódicamente monitoreos de las características fisicoquímicas de las aguas extraídas de fuente subterránea, en este caso socavón, aguas lluvias (si se llegase a implementar un sistema de captación de las mismas) y aguas de reúso. Esto con el fin de conocer si la fuente hídrica posee la calidad adecuada para su utilización en las actividades de consumo doméstico que requiere esta UPM.

- En la operación a cielo abierto de la UPM 05809C04, se realiza el riego de vías como medida de supresión de polvos de carbón, por tal razón se sugiere optimizar el riego de caminos: El regadío debe cubrir como mínimo la mitad del ancho del camino, se debe efectuar en horas de baja evaporación y de alto tráfico vehicular. También se pueden construir superficies asfálticas o realizar estabilización química de los caminos (Gobierno de chile. 2002).

- Protección de acuíferos. Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la

calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/ó instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales[203].

Dentro de presentes y futuras líneas de investigación, los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección

2.1.2.3 Distrito minero de La Jagua

En el departamento del Cesar se visitaron las UPM 20178C01 y 20013C02, la demanda de agua por parte de las UPM obedece al consumo en humectación de vías para la supresión de polvo, uso doméstico, en el lavado del carbón en la planta de lavado de carbón térmico, humectación del tren de transporte y zona de lavado de vehículos.

Para abastecer las necesidades domésticas las UPM cuentan con pozos profundos (agua subterránea) que alimentan las plantas de tratamiento de agua potable –PTAP- adicionalmente las aguas utilizadas para la humectación de vías (supresión de polvo), demanda de la planta de lavado y humectación del tren de carga, proviene del agua de escorrentía recolectada en sumideros y pozos (construidos para recolectar esta agua para su almacenamiento) desde los cuales se suministra la cantidad necesaria.

El cargue de agua en los camiones para la humectación de vías, se realiza mediante el uso de torres de llenado que facilitan cargue de agua en los camiones, las torres se abastecen de los sumideros o lagunas creadas para tal fin. Durante la visita se constató un gran control cuantitativo del agua por parte de la empresa.

[203] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

Se recomienda a estas UPM seguir implementado las acciones actuales de uso adecuado del recurso hídrico, además, se considera adecuado el equipo utilizado para la humectación de las vías.

2.2. TECNOLOGÍAS PARA OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO HÍDRICO

En la actualidad la tecnología aporta grandes beneficios a la humanidad y el planeta, creando herramientas que nos ayudan a ahorrar tiempo y recursos, en este caso lo que buscamos es recopilar y proponer un conjunto de técnicas y/o tecnologías que aplicadas a los procesos de extracción y beneficio del mineral que los hagan más eficaces pero a su vez optimicen el recurso hídrico utilizado.

“La gestión de recursos hídricos debe responder a la elección entre dos estrategias, que son: el aumento en oferta o la reducción de la demanda a través de la eficiencia en el uso de los recursos existentes.” (Green, 2003)

La gestión del agua es una tarea importante dentro de las operaciones mineras y que debe tenerse en cuenta en cada una de las etapas del proyecto. Consideraciones como la identificación y cuantificación del suministro de agua requerido, la evaluación integral de los impactos ligados a la extracción y el desvío de recursos hídricos, son asuntos claves durante las etapas de exploración y factibilidad. Durante la etapa de explotación, donde se da la mayor demanda de agua para el funcionamiento de los procesos de beneficio mineral, dejar relegada la atención al adecuado manejo de los recursos a momentos de escasez o exceso del mismo es un error que suele dejar secuelas económicas severas para un proyecto, tanto por el costo del manejo de impactos ambientales no controlados adecuadamente, como por comprometer el funcionamiento de la operación (Australian Goverment, 2011).

La minería aurífera se caracteriza por tener un amplio margen de explotaciones de pequeña escala y artesanales, Colombia no es ajena a esa realidad. La mayor parte de las unidades de producción estudiadas en el Proyecto se clasifican dentro de esta denominación. Este contexto enmarca la realidad de este documento, que se plantea diversos frentes de acción al momento de analizar la situación de cada una de las operaciones evaluadas en la etapa de campo.

Este tipo de UPMs tienen características particulares, una de estas es que “[…] no existe una fase exploración y evaluación económica, en este caso esta fase se haya sustituida por una fase de descubrimiento de yacimiento; en unos caso este descubrimiento es un proceso aleatorio, en otros explotan áreas que han descubierto compañías mineras formales” (Loredo et al, 2009). Esa cualidad dificulta la planificación estratégica del uso del agua dentro de la operación, pues no se procede con todos los protocolos que esto requiere.

La orientación del análisis se enfoca hacia el proceso de beneficio, evaluando el sistema implementado en cada unidad de producción e identificando los aspectos proclives de mejora en cuanto al manejo del recurso hídrico se refiere, las tecnologías que se van a

plantear como alternativas para la optimización del agua, solo se tomaron en cuenta las operaciones unitarias de beneficio del mineral, debido a que en la mayoría de las UPM ninguna de las operaciones de extracción subterráneas (mayoría UPM) como lo son arranque, cargue, transporte, ventilación, sostenimiento, iluminación y desabombe presenta una demanda de agua, por el contrario el agua de infiltración de las minas se bombea a superficie y en algunos casos se utiliza para el proceso de beneficio en las plantas metalúrgicas.

En el caso de las UPM del choco en específico las dragas cuyo proceso de extracción del mineral si tiene un consumo de agua, debido a que estas extraen los sedimentos de oro disueltos en el rio a través de tubos de succión, se hace imposible no demandar del recurso hídrico para esta etapa, sin embargo se propondrá alternativas que busquen reducir el consumo de agua en estas UPM.

La principal línea de trabajo en todo caso debe ser: “Minimizar el uso del agua y aumentar al máximo la reutilización de la misma” (Australian Goverment, 2011). Haciendo especial énfasis en la última parte de la frase.

Un aspecto clave e importante a tener en cuenta en este punto es que las alternativas tecnológicas que se plantearan a continuación tienen una limitante fundamental y es la falta de conocimiento de los depósitos minerales en específicos estudiados, aclarando que cada deposito es diferente, en la mayoría de las UPM visitadas en los diferentes distritos de los departamentos no se conoce a ciencia cierta que material están procesando, solo las UPM 19110O03 (distrito minero de tambo-buenos aires) y la UPM Villa Kelly (Distrito minero San Martin) cuentan con este tipo de análisis. Se desconocen variables como tenor de alimentación, tenor del depósito, asociación mineralógica del oro, tamaño de partícula de los minerales, minerales acompañantes, entre otros; por lo que el alcance de estas propuestas se ve afectado de manera relevante, ya que para poder definir qué tecnología funciona en cada una de las operaciones unitarias del proceso de beneficio para cada depósito en específico se deben conocer como mínimo las variables mencionadas anteriormente, resaltando también que incluso conociendo estas variables también podrían arrojarse resultados inesperados en cuanto al tema del porcentaje de recuperación del oro por ejemplo, debido a que los ensayos de laboratorio se aplican para plantas a escalas pilotos que una vez son llevadas a escala industrial pueden terminar dando resultados no esperados. Recopilando todo lo anterior lo primero que se sugiere para poder implementar las tecnologías que me permitan optimizar el uso del recurso hídrico son estudios minero-metalúrgicos de los depósitos minerales a explotar, para así poder proponer diseños de plantas metalúrgicas acorde con el tipo de mineral especifico que se tenga.

La situación de los procesos de beneficio observados en las UPMs se resume en 4 escenarios diferentes:

La concentración mineral: esto aplica especialmente para los depósitos aluviales y algunas plantas de beneficio de oro de veta donde no se llega hasta la fase metalurgia extractiva. En estos últimos casos se llega solo hasta un generar un concentrado e intentar recuperar la mayor parte del oro libre presente en la mineralización.

Lixiviación con cianuro: el cianuro es uno de los agentes lixiviante con mayor uso en la industria. En la minería aurífera es usado en fases de hidrometalurgia para la extracción de oro que no puede ser recuperado mediante operaciones conminución y concentración. El uso adecuado del cianuro tiene 2 puntos clave:

El primero es la caracterización las asociaciones minerales que acompañan el oro, pues algunas menas contienen minerales cianicidas que inhiben la acción del compuesto sobre las partículas del metal precioso.

El segundo foco de atención, son las colas generadas en el proceso. Existen diversos métodos para el tratamiento de los efluentes de cianuración: degradación natural, hipoclorito de calcio, peróxido de hidrógeno, entre otros. Lo importante es crear conciencia sobre el manejo responsable de los vertimientos producidos durante la operación minera.

Uso de mercurio: La amalgamación es una práctica ampliamente utilizada en la minería aurífera de pequeña escala.

“El Mercurio (Hg) es una de las sustancias toxicas más peligrosas. Al ser inorgánico, es un elemento que no puede destruirse a través de reacciones químicas, ni se descompone en compuestos inocuos para el organismo humano o el medioambiente.

Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado de manera espectacular desde el comienzo de la industrialización. La contaminación principal por mercurio son las emisiones al aire debidas a la combustión del carbón, pero el mercurio es liberado también de una variedad de fuentes directamente a la tierra y el agua. […] Si bien actualmente existen tecnologías en algunas regiones para la gestión adecuada del mercurio, como por ejemplo las retortas comunales, estas no han llegado a implantarse entre las usadas por la mayoría de los mineros”.

Combinación de mercurio y cianuro: Esta es una circunstancia aún más nefasta. “Si el impacto ambiental generado por el mercurio es letal, la combinación del mercurio con el cianuro es aún peor. Los lodos residuales del proceso de amalgamación, al ser cianurados, no solo liberan el oro, sino también los restos de mercurio residual de los lodos. Formando un compuesto llamado cianuro de mercurio, el cual es muchos más biodisponible a ser metilizado que el mercurio metálico, cuando es arrojado al medio. Un

estudio indica que el impacto del cianuro de mercurio arrojado a un rio ha dejado altos niveles de mercurio en peces, en regiones donde la amalgamación y cianuración se usan simultáneamente (Veiga et al., 2009).

Las diferentes variaciones de este complejo son:

- Cianuro de mercurio Hg (CN)2 : Es un sólido cristalino, que no da las reacciones de cianuros. Las proteínas se ligan al Hg y se libera CN-.
- Oxicianuro de mercurio Hg (CN)2O: Se emplea en cirugía, urología y en oftalmología como antiséptico.
- Tiocianato de mercurio Hg (SCN)2: Es un polvo blanco de propiedades eméticas.
- Fulminato de mercurio Hg (CN)2O2: Muy utilizado en la fabricación de explosivos como detonante. Soluble en agua y alcohol. Es un polvo cristalino, que explota fácilmente en seco.” (Universitat Politecnica de Catalunya)

Con respecto a los últimos casos planteados, la Ley 1658 de 2013 (aprobada el 15 de julio de ese año) establece lo siguiente en su Artículo 3: “[…] Erradíquese el uso del mercurio en todo el territorio nacional, en todos los procesos industriales y productivos en un plazo no mayor a diez (10) años y para la minería en un plazo máximo de cinco (5) años”. Esta determinación del gobierno es una iniciativa sensata y en procura la protección del medio ambiente, pero debe soportarse en el acompañamiento, capacitación y asesoría técnica y legal a los pequeños mineros.

A continuación se realiza una descripción de las alternativas tecnológicas que se van a proponer para optimizar el uso del recurso hídrico en las operaciones unitarias de beneficio unitarias de las UPM visitadas de los distritos mineros estudiados.

- **Trituración:** Las tecnologías usadas para la conminución del material trabajan por vía seca en su mayoría y se propondrán las siguientes:

  - **Trituradora de quijadas:** “Utilizada en trituración primaria y secundaria, esta es gruesa y media. Recibe su nombre por el movimiento que realiza su placa de trituradora con respecto a su placa fija, similar a una mandíbula al masticar. El motor de la máquina produce un movimiento oscilatorio en una de las placas, misma que está colocada de manera diagonal. El mineral es introducido por la parte superior de la trituradora, que tiene una cavidad amplia que se reduce. El

movimiento oscilatorio y la presión que la placa ejerce sobre los minerales al hacerlos chocar con la placa fija provocan que las rocas se fragmenten."[204]

- **Trituradora de impacto:** Se compone principalmente de chasis, rotor, la transmisión del rotor y las placas de impacto. Las trituradoras de impacto son mecánicas, por machacar los materiales usando la energía de impacto. En primer lugar, los materiales entran en la cámara de trituración desde la boca de alimentación. El rotor se rueda a alta velocidad cuando trabaja la máquina. Los materiales serán despedazados por el impacto con el martillo del rotor, y serán tirados a la placa de impacto. Así repite el proceso y los materiales serán machacados repetidamente. Los productos finales serán descargados hasta que corresponden la granularidad necesitada. Para cambiar la granularidad y la forma de los productos finales, se puede ajustar el intersticio entre la placa de impacto y el rotor. Por la forma como está dispuesta, los trituradoras de impacto de eje vertical anulan prácticamente la posibilidad de atasques, garantizando un funcionamiento fluido de las líneas de producción.[205]

- **Molienda:** Las tecnologías usadas para la molienda del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

  - **Molino de Bolas**: "Este equipo de molienda continua es un tambor cilíndrico, forrado interiormente con camisas o placas de acero endurecidas, en su interior una parte del volumen está cargado con bolas de acero al manganeso las cuales sirven de cuerpos moledores, y otra parte se destina para el mineral y para el agua; la carga del mineral a procesar se realiza a través de una tolva de finos; durante el proceso de molienda es necesario agregar continuamente agua para que se mantenga una relación de pulpas de 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas. La molienda con molinos de bolas permite trabajar de una manera continua, controlar los parámetros de molienda y disminuir los costos por tonelada molida; los molinos de bolas no se encuentran en todas las plantas de beneficio". [206]

[204] Martínez Carillo (2012). Trituración y Molienda. Curso Procesamiento de Minerales - Maestría en Ciencia y Tecnología de la Metalurgia.
[205] Ibíd.
[206] MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA.* Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

- **Molino chileno: "**Son equipos conformados por "[….] hasta 4 ruedas de acero que giran alrededor de un eje y sobre una pista denominada circo, la cual está recubierta por material de acero endurecido. La carga se aplica directamente al molino de forma manual y la rotación de las masas en el circo produce atrición y abrasión de las partículas, las que abandonan el molino a través de una malla de clasificación. El molino chileno puede tener rendimientos de hasta 20 t/día, pero su operación es discontinua y necesita de alto flujo de agua para su operación." [207]

- **Molino de martillos**: Es adecuado para aplastar todo tipo de materiales duros y frágiles. El componente principal de trabajo del equipo es su rotor que está compuesto por el eje, el disco, eje principal pasador y cabeza de martillo. El rotor motivado por el electromotor hace revolución a alta velocidad en la cavidad de trituración. Las materias primas entran en la máquina desde la entrada superior y son aplastadas, impactadas, cortadas y molidas a polvos por el martillo a alta velocidad. Por debajo del rotor, se encuentra la placa de tamiz, de la cual los materiales –después de la molienda– más pequeños que el tamaño de la pantalla fluyen hacia fuera, mientras que los más grandes que el tamaño de la pantalla se detendrán en ella para recibir trituración y corte. Finalmente, se descarga fuera de la máquina desde la placa de pantalla. [208]

➢ **Clasificación:** Las tecnologías usadas para la clasificación del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

- **Trommel:** Es un cilindro de malla utilizada para separar los materiales por tamaño. También usado para la limpieza del material. "La intensidad de lavado está ligada al tiempo de permanencia del material y varía con el diseño de las bocas, longitud del cilindro, largueros de elevación, paletas de retención o avance."[…] "Suele tener un consumo de agua en m3/h, de 1 a 2 veces el caudal de alimentación en T/h.[209]

[207] MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA.* Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.
[208] SBM. (2007). Funcionamiento de un molino de martillos. Recuperado el 29 de 07 de 2005, de http://molinochile.com/Solutions/funcionamiento-de-un-molino-de-martillos.html
[209] ARITEMA. (2014). *Tromel de lavado. Aplicaciones y descripción.* Recuperado el 3 de 8 de 2015, de http://www.aritema.es/pdf/Catalogo_TROMEL_LAVADOR.pdf

- **Tornillo helicoidal:** Se trata de tornillos helicoidales a los que un motorreductor imprime un movimiento rotatorio. Según sus dimensiones y su modo de empleo (en posición horizontal, vertical u oblicua), van montados en un carter acanalado o cilíndrico. Estos transportadores son ampliamente utilizados para mover materiales pulverizados granulares, no corrosivos y no abrasivos, cuando la capacidad es moderada, la distancia no es mayor de 60 metros y la trayectoria no tiene demasiada pendiente. El transportador consta esencialmente de una artesa, cerrada o abierta, dentro de la cual gira un eje, macizo o hueco, alrededor del cual se enrolla una espira en forma de hélice. Este conjunto de ejes y espiras gira accionado por un motor y con una caja de reducción de engranajes, generalmente cónicos. La carga se efectúa por la boca de carga, bien manualmente o por medio de un dispositivo dosificador que va colocado en la tolva de llenado, procurando que el material no caiga desde altura excesiva. El giro del eje es el que efectúa el transporte del material, que se descarga por la parte inferior por medio de un orificio (boca de descarga), practicado en la artesa, que suele ir provisto de una trampilla de cierre regulable, siendo posible la existencia de varios puntos de descarga, generalmente sólo en instalaciones fijas, ya que en las portátiles, la entrada está situada en un extremo, y la salida en el otro.[210]

- **Hidrociclón:** el funcionamiento teórico de estos equipos es el siguiente: “La suspensión de alimentación forma un torbellino primario a lo largo de la superficie interior de la pared de las partes cilíndrica y cónica, dirigiéndose al exterior a través del vértice cónico. Al ser éste estrecho, solamente una parte de la corriente es evacuada como flujo inferior (underflow), transportando las partículas gruesas o inclusive todos los sólidos con ella. La mayoría del líquido (que ha sido limpiado por la sedimentación de los sólidos en el torbellino primario, o bien que transporta las partículas finas sobrantes con él), es forzado a abandonar el ciclón a través de la tobera del flujo superior (overflow) formando un torbellino secundario ascendente alrededor del núcleo de la carcasa. En el interior del núcleo se crea una depresión, que recoge todo el aire que ha sido transportado como burbujas o disuelto en el agua de alimentación.” [211]

- **Concentración:** Las tecnologías usadas para la concentración del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

[210] Restrepo Baena, O. J. (2009). Curso Metalurgia Extractiva - Apuntes . Universidad Nacional - Facultad de Minas
[211] Trawinski, H. (1975). *Aplicaciones y Funcionamiento Práctico de los Hidrociclones.*

- **Canalón:** "[…] Está formado por un canal fabricado en lámina y recubierto por textiles, encima de ellos se coloca una malla expandida o unos rifles, que permiten realizar golpes de agua y concentrar los minerales. […] Opera con pendientes entre el 10% - 12%, la cual es regulada por la cantidad de agua que corre sobre él; la capacidad de este elemento es muy variable y se adecúa fácilmente a la cantidad de mineral a beneficiar. […]. Los canalones trabajan eficientemente con pulpas en relación de 1 parte de mineral por 10 de agua (1:10) y se debe recoger continuamente el concentrado cada vez que se observe saturación del mismo canal." [212] En una operación continua la pulpa de salida suele tener porcentaje de sólidos en peso de entre 3% y 4%. [213]

- **Jig:** es un equipo de concentración gravimétrica muy utilizado en la minería de minerales pesados (estaño, wolframio, etc.) y también en la minería aurífera. El jig permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. En la minería aurífera los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial), en tanto que los livianos son cuarzo y diferentes tipos de roca.[214] En cuanto al uso de agua los rangos óptimos de trabajo de la densidad de pulpa de alimentación suelen estar entre 35% - 40% sólidos. Así mismo, para una alimentación de referencia de unas 25 ton/h de sólidos el caudal de agua de elutriación suele estar entre el rango de 300-600 L/min. [215]

- **Mesa vibratoria:** "Son equipos de concentración que actúan a través de superficies con movimientos acelerados asimétricos, combinados muchas veces con el principio de escurrimiento laminar. Este equipo dispone de un mecanismo que proporciona un movimiento de vibración lateral diferenciado en sentido transversal del flujo de l pulpa, que causa el desplazamiento de las partículas a lo

[212] MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA.* Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.
[213] León Wong, J. (1999). Situación actual de la mediana minería en el Ecuador. Cambio de sistema de producción en la mina Bonanza. *Tesis de Grado*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
[214] Pavez Miqueles, O. (2004). Apuntes Concentración de Minerales II. Universidad de Atacama - Facultad de Ingenieria.
[215]Alvarez Q., A. (2006). Técnología de la concentración centrífuga - Notas de Curso. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería

largo de los rifles. El consumo de agua de estos equipos teóricamente suele estar en el rango 38 a 83 L/min (alimentación) y 11 a 45 L/min (lavado)".[216]

- **Celdas de flotación:** El proceso de flotación tiene por objetivo la separación de especies minerales de interés mediante la adhesión a burbujas de aire. Los principios básicos en que se fundamenta el proceso de la flotación son la hidrofobicidad del mineral que permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire y la formación de una espuma estable sobre la superficie del agua que permite mantener las partículas sobre la superficie. Para que el proceso sea efectivo se requiere la adición de reactivos: colectores, depresores, activadores y modificadores, cuyas acciones principales son inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada. En la parte superior se concentrará la espuma que contiene los minerales de interés finamente molinos y en la parte inferior descargan las colas resultantes del proceso, en cuanto al consumo de agua la relación de pulpas que se maneja para el procesamiento de mineral es de 1:3 o hasta 1:4; es decir 3 a 4 partes de agua por una de mineral.[217]

- **Knelson:** El concentrador recupera partículas de oro de tamaños que van desde ¼"hasta aproximadamente 1 micrón, este concentrador consiste de un cono perforado con anillos internos y que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a 1/4", es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que, las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono.[218]

- **Falcon:** El concentrador Falcon consiste de un bolo cilíndrico -cónico que gira a alta velocidad en el interior de una camisa fija cuya función es colectar el relave. La pulpa se alimenta en el fondo del cono, es acelerada y se va estratificando a medida que asciende en el rotor. Dependiendo del tipo de modelos de serie del concentrador que se trate (Serie SB o Serie), las partículas serán sometidas a 200

[216] Pavez Miqueles (2004). Apuntes Concentración de Minerales II.
[217] Bustamante, M. O. (2013). Flotación de Minerales - Apuntes de Curso. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas.
[218] Universidad de Atacama (2007). Concentradores centrífugos-Concentrador Falcon y Knelson.

g o 300 g,y el proceso de concentración en el bolo se realizará de acuerdo a un procedimiento diferente, en forma discontinua o continua.[219]

- **Lixiviación:** Las tecnologías usadas para la lixiviación del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

  - **Tanque de cianuración (Agitación):** "En este tipo de operación la pulpa se mantiene en movimiento con el objetivo de acelerar el proceso de disolución y exposición de las partículas metálicas a la acción del agente disolvente. Suele ser proceso continuo donde carga nuevo material mientras se recoge el ya procesado. El proceso suele durar alrededor de 18 horas. Sin embargo, conforme la relación costo beneficio de cada operación este tiempo puede aumentarse. Existen básicamente dos tipos de tanques: agitadores mecánicos que utilizan impulsores metálicos para transmitir movimiento a la pulpa y agitadores neumáticos que utilizan el bombeo de aire en la base del tanque para dar suspensión a la pulpa, este último considera un beneficio extra la cantidad de aire suministrado al proceso. En este el recurso hídrico recibe una cantidad importante de reactivos químicos, por lo que es indispensable el tratamiento de las colas producidas previo su vertimiento".[220] El consumo de agua en el proceso de cianuración depende exclusivamente de la cantidad de material que se vaya a procesar, debido a que en el proceso se maneja una relación de pulpa Liquido/Solido de 2:1 y esta puede llegar a variar dependiendo de las condiciones químicas del mineral llegando a ser en algunas ocasiones de 5:1. "Suelen manejarse densidades de pulpa en volumen entre 35%-50% de sólidos dependiendo de condiciones como peso específico, tamaño de partícula y presencia de minerales que aumenten la viscosidad de la pulpa". [221].

- **Recuperación de oro:** La mayoría de las tecnologías usadas en la recuperación de oro no tienen un consumo de agua, solo el clarificador y siempre está agua es la proveniente del proceso de cianuración, por su parte en los esperadores lo que se busca es retirar agua para espesar la pulpa, las tecnologías son las siguientes:

[219] Universidad de Atacama (2007). Concentradores centrífugos-Concentrador Falcon y Knelson.
[220] Lara Monge (2005). Procesos de Cianuración. Subproyecto "Asistencia técnica y capacitación para el desarrollo técnico de Amalar".
[221] Romero, A., & Flores, S. (2010). La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 12, N.º 24, 133-140.

- **Clarificador**: Un tanque o cubeta en los que se mantiene por un período de tiempo una solución, permitiendo que los sólidos en suspensión remanentes se asienten con el fin de obtener una solución más limpia. [222]

- **Filtro prensa:** Es un sistema de filtración por presión. Consisten en una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas, estas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada una. Están concebidos para suspensiones cargadas que forman una torta, están formados por una serie de platos verticales yuxtapuestos alternativamente con armazones huecos en los cuales se acumula la torta. El soporte de filtración está formado por telas que sujetan los platos acanalados. El filtrado fluye tras cruzar el tejido filtrante por las conducciones adecuadas.[223]

- **Espesador:** Se utiliza para retirar el agua de una pulpa; es decir, para espesarlo. Toda la estructura es metálica y trabaja bajo el principio de gravedad o sedimentación, pues los sólidos se decantan y el agua se mantiene y descarga por arriba.[224]

A continuación se analizaran cada UPM estudiada en el proyecto y se explicara las propuestas de las alternativas tecnológicas planteadas para lograr el objetivo de la optimización del recurso hídrico en los proyectos mineros.

2.2.1. Minería de Oro

2.2.1.1. Distrito minero del Nordeste Antioqueño

El distrito minero nordeste antioqueño está conformado por 12 municipios, la mayoría de ellos productores de oro, para este estudio se tomaron muestras en dos municipios del departamento de Antioquia: Segovia y Zaragoza, para realizar el análisis de las alternativas tecnológicas en esta parte del estudio, se agruparon en 3 grupos las UPM, selección que se hizo teniendo en cuenta las operaciones con características similares en su proceso de beneficio. Esto con el fin de facilitar su análisis y de plantear estrategias

[222] MinMinas. (2003). Glosario Minero.
[223] Ministerio de minas y energía (2006). “técnicas de para la extracción aurífera, proceso de cianuración y amalgamación”.
[224] MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA.* Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

comunes, tomando en cuenta desde luego, las características particulares más relevantes de cada unidad de producción. A continuación se exponen cada uno de los grupos escogidos y también se describen técnicamente las tecnologías que se propusieron para optimizar el uso eficiente del recurso hídrico en los procesos unitarios de las UPM.

a. Grupo 1

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que cuentan con una mina donde se realiza la extracción del mineral que se suministra a la planta de beneficio, además dentro de su proceso de beneficio las dos cuentan con el mismo esquema de recuperación del oro que consiste en una molienda-amalgamación y a las colas provenientes de este proceso anterior se le realiza una cianuración en la UPM 05895O01 por agitación y en la UPM 05895O02 por percolación. Las UPM que componen el grupo son:

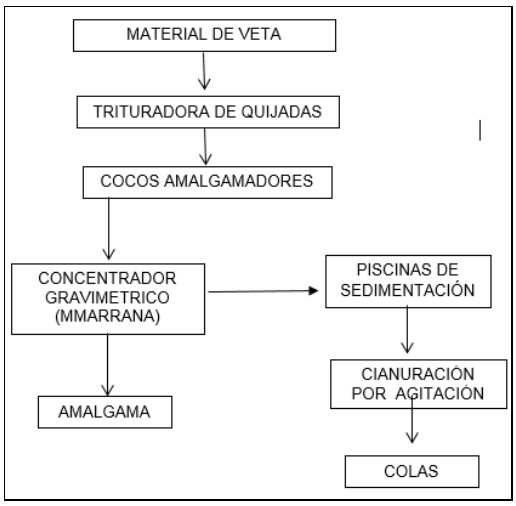
La UPM 05895O01 se encuentra localizada en el municipio de Zaragoza, procesa diariamente más o menos 3 toneladas, laboran 208 horas al mes y centra su explotación en encontrar el material de una veta de oro mediante un método de explotación subterráneo de tambores o realces paralelos, las tecnologías de las operaciones unitarias de extracción como se mencionó anteriormente no tienen ninguna demanda de agua, por el contrario el agua de infiltración de la mina es bombeada a superficie.

En cuanto al proceso de beneficio del mineral se realiza en un entable y procesan 0,7 toneladas de mineral día, el proceso se divide en varias etapas: trituración, molienda, amalgamación y cianuración

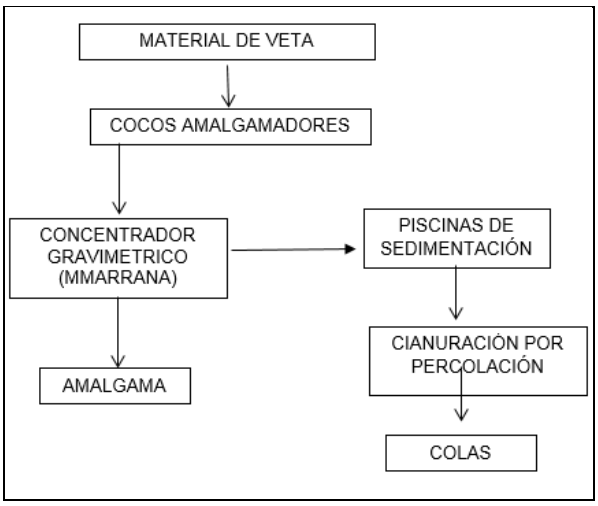
La UPM 05895O02 al igual que la UPM 05895O01 se localizada en el municipio de Zaragoza, laboran 234 horas al mes y explota la misma veta pero en otra zona, implementa el mismo método de explotación y las tecnologías de las operaciones unitarias de extracción como se mencionó anteriormente no tienen ninguna demanda de agua. El proceso de beneficio también es similar con la diferencia que la etapa de cianuración en esta UPM es por percolación mientras que en la UPM anterior es por agitación y además esta UPM no tiene la etapa de trituración.

A continuación se muestran los esquemas actuales de beneficio de las UPM del grupo 1 del distrito minero Nordeste Antioqueño

Ilustración 32. Esquema de beneficio de oro grupo 01 distrito minero Nordeste Antioqueño



a. Esq. Beneficio UPM 05895O01



b. Esq. Beneficio UPM 05895O02

Para este conjunto de UPMs al igual que para todas las del estudio se plantea hacer una mejora en los procesos mineros de beneficio, para luego pensar en una optimización del recurso hídrico desde el punto de vista de la recirculación de este al proceso. En estas UPM primero que todo se debe enfatizar en la sustitución del proceso de amalgamación utilizando tecnologías limpias que ayuden a recuperar el mismo tipo de oro que se recupera con el mercurio, por ejemplo se propone la utilización de concentradores gravimétricos como jigs o mesas vibratorias y concentradores centrífugos como el falcon o knelson que ayudarían a recuperar el oro libre del depósito, previamente a esta concentración se deberá tratar de reducir al máximo el tamaño de las partículas por lo que se propone también que en el proceso de trituración se tenga una etapa primaria y una secundaria, además de esto se puede reemplazar la molienda convencional en cocos por molinos de bolas continuo. Para el oro asociado al sulfuro se propone un esquema de recuperación con cianuración por agitación seguida de un proceso de merril crowe para la precipitación y recuperación del oro, el agua de esta operación se puede reutilizar en el mismo proceso al igual que la recuperada en el merril crowe, generando así una recirculación.

Con estas nuevas tecnologías además de buscar que los procesos sean más amigables con el medio ambiente y se elimine la utilización del mercurio, se busca generar circuitos cerrados o semi-cerrados que permitan hacer una correcta recirculación del recurso hídrico a las operaciones unitarias, con el fin de llegar al objetivo planteado de la optimización del agua.

En la Tabla 147 se resumen las tecnologías que actualmente implementan las UPMs mencionadas en cada operación unitaria y se mencionan algunos equipos descritos anteriormente que pueden ser tomados en cuenta para complementar procesos o sustituir las que utilicen.

Tabla 147. Tecnologías Grupo 01 DM Nordeste Antioqueño

Operación Unitaria	Tecnologías implementadas actualmente		Tecnologías alternativas
	UPM 05895O01	UPM 05895O02	
Trituración	Trituradora de quijadas	No implementan	Trituradora de Quijadas secundaria
Molienda	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Molino de bolas
Clasificación	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales
			Hidrociclón
Concentración Gravimétrica	Marrana	Marrana	Jig
			Mesa
Concentración Centrifuga	No implementan	No implementan	Knelson
			Falcon
Lixiviación	Cianuración por agitación	Cianuración por percolación	Cianuración por agitación
Recuperación Au	No implementan	No implementan	Proceso Merril Crowe

b. Grupo 2

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que solo son plantas de beneficio a los que van los mineros a procesar su mineral y por lo que pagan un porcentaje acordado con el dueño del entable, además cuentan con el mismo esquema de recuperación del oro que consiste en una molienda-amalgamación, exceptuando la UPM 05736O03 que tiene todo un proceso de recuperación de oro asociado a sulfuros. Las UPM que componen el grupo son:

La UPM 05736O04 se encuentra localizada en el municipio de Segovia, procesa diariamente más o menos 1.5 toneladas de mineral y laboran 360 horas mensuales, el proceso se divide en dos etapas: molienda y amalgamación.

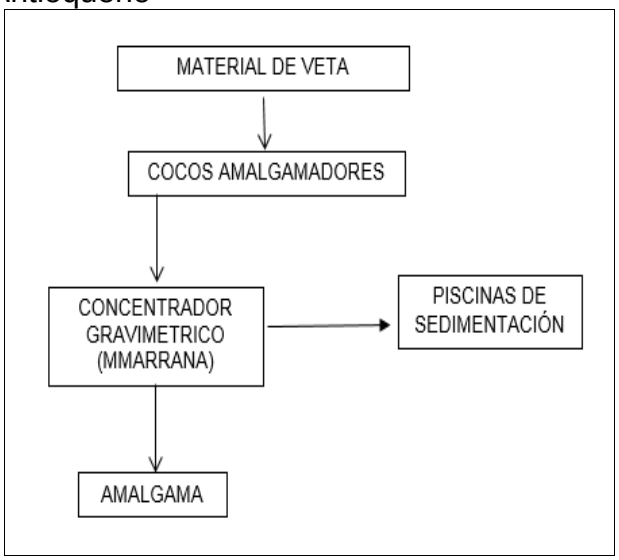
La UPM 05736O05 al igual que la UPM 05736O04 se encuentra localizada en el municipio de Segovia, y procesa diariamente más o menos 4.5 toneladas de mineral, laboran 144 horas al mes y se realizan las mismas dos operaciones unitarias.

La UPM 05736O03 al igual que las dos UPM anteriores se localiza en el municipio de Segovia y procesa diariamente 4.2 toneladas de mineral, laboran 360 horas al mes y se

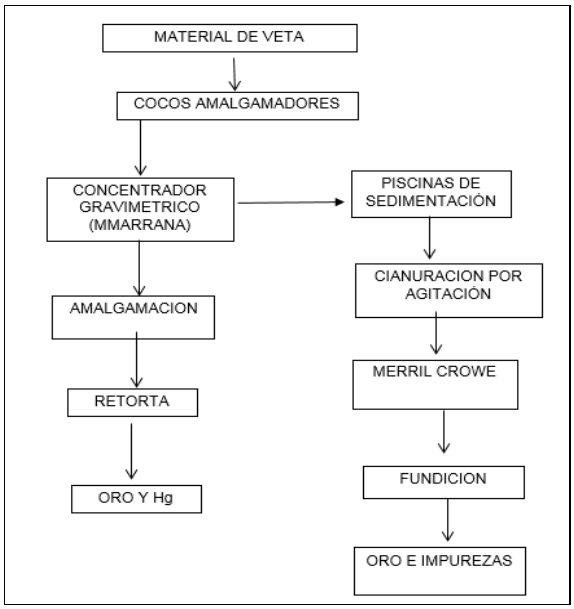
realizan las mismas dos operaciones unitarias anteriores y además la operación de cianuración por agitación y el proceso de merril crowe para la recuperación del oro.

A continuación se muestran los esquemas actuales de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito minero Nordeste Antioqueño

Ilustración 33. Esquema de beneficio de oro grupo 02 distrito minero Nordeste Antioqueño



a. Esquema UPM 05736O04 y UPM 05736O05



b. Esquema UPM 05736O03

Para este grupo de UPM lo primero que se plantea al igual que el grupo anterior es la sustitución del uso del mercurio por una concentración gravimétrica en un Jig o una mesa vibratoria y una concentración centrifuga en un Knelson o un falcon que permitan recuperar el oro libre que se recuperaba con la utilización del mercurio, al igual que en las UPM anterior antes de la etapa de concentración mineral se debe garantizar tamaños de partículas muy finos que permitan liberar el oro con mayor precisión a la hora de la concentración, lo segundo que aplicaría para las UPM la UPM 05736O04 y 05736O05 que tiene el circuito de recuperación de oro incompleto (no recuperan el oro asociado a los sulfuros), se plantea que se complete el proceso, las colas de la amalgamación que ahora serían las corrientes gruesas de los concentradores se deben lixiviar con cianuro mediante un proceso de cianuración por agitación para así recuperar el oro diseminado que se encuentra en medio de los sulfuros asociados a los depósitos, para posteriormente

realizar un proceso de merril crowe que me permita precipitar el oro del cianuro y así poder llevarlo hasta la etapa de fundición.

En estas UPM juega un papel clave el hecho de que cada minero vaya a procesar su mena, ya que esto implica que no se puede proponer un esquema de beneficio continuo, debido a que cada mineral es distinto y de un dueño diferente, por lo tanto a la hora de realizar circuitos cerrados y continuos no se podría diferenciar a quien pertenece cada mineral, por lo que se propone que se continúe con la molienda (pero sin amalgamación) en los cocos y que cada minero concentre su mineral en el los equipos, ya sea Jig, mesa, falcon o Knelson y luego por medio de una batea recupere el oro libre, y las colas provenientes de los concentradores las vendan al dueño del entable para que este implementando el método descrito anteriormente de cianuración-Merril crowe obtenga el oro asociado a los sulfuros.

Como se mencionó anteriormente con estas nuevas tecnologías además de buscar que los procesos sean más amigables con el medio ambiente y se elimine la utilización del mercurio, se busca recircular el recurso hídrico a las operaciones unitarias, con el fin de llegar al objetivo planteado de la optimización del agua.

En la Tabla 148 se resumen las tecnologías que actualmente implementan las UPMs mencionadas en cada operación unitaria y se mencionan algunos equipos descritos anteriormente que pueden ser tomados en cuenta para complementar procesos o sustituir dispositivos que utilicen.

Tabla 148. Tecnologías Grupo 02 DM Nordeste Antioqueño

Operación Unitaria	Tecnologías Implementadas Actualmente			Tecnologías alternativas
	UPM 05736O04	UPM 05736O03	UPM 05736O05	
Trituración	No implementan	No implementan	No implementan	Trituradora de Quijadas
Molienda	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Molino de bolas Cocos Moledores
Clasificación	No implementan	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales Hidrociclón
Concentración Gravimétrica	Marrana	Marrana	Marrana	Jig Mesa
Concentración Centrifuga	No implementan	No implementan	No implementan	Knelson Falcon
Lixiviación	No implementan	Cianuración por agitación	No implementan	Cianuración por agitación
Recuperación Au	Quema de Amalgama	Quema de Amalgama Proceso Merril Crowe	Quema de Amalgama	Proceso Merril Crowe

2.2.1.2. Distrito minero de San Martín de Loba

En los municipios bolivarenses de San Martín de Loba, Altos del Rosario, Norosí y Hatillo de Loba, que forman parte del distrito minero de San Martín de Loba en el sentido de UPME (2005 pág. 16)[225] se visitaron 10 unidades de producción minera (UPM). En este distrito las UPM se subdividieron en grupos con el fin de facilitar su análisis y de plantear estrategias comunes, tomando en cuenta desde luego, las características particulares más relevantes de cada unidad de producción. A continuación se exponen cada uno de los grupos escogidos.

a. Grupo 1

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que dentro de su proceso de beneficio del mineral solo tienen la operación unitaria de molienda-Amalgamación, además algunas de ellas alquilan el entable de beneficio a los mineros para procesar su mineral por lo que pagan un porcentaje acordado con el dueño del entable. Las UPM que componen el grupo son:

La UPM 13030O05 se encuentra localizada en el municipio de Altos del Rosario, procesan 20 toneladas mensuales, laboran 96 horas al mes, sus operaciones son solo en la parte del beneficio del mineral, el proceso se divide en dos etapas: molienda y amalgamación.

La UPM 13667O04-1 se encuentra localizada en el municipio de San Martin de Loba procesan 91 toneladas mensuales, laboran 208 horas al mes, sus operaciones son solo en la parte del beneficio del mineral, el proceso se divide en dos etapas: molienda y amalgamación.

La UPM 13667O04-2 se encuentra localizada en el municipio de San Martin de Loba procesan 224,64 toneladas mensuales, laboran 208 horas al mes, sus operaciones son solo en la parte del beneficio del mineral, el proceso se divide en dos etapas: molienda y amalgamación.

La UPM 13667O04-3 se encuentra localizada en el municipio de San Martin de Loba procesan 145,6 toneladas mensuales, laboran 234 horas al mes, sus operaciones son

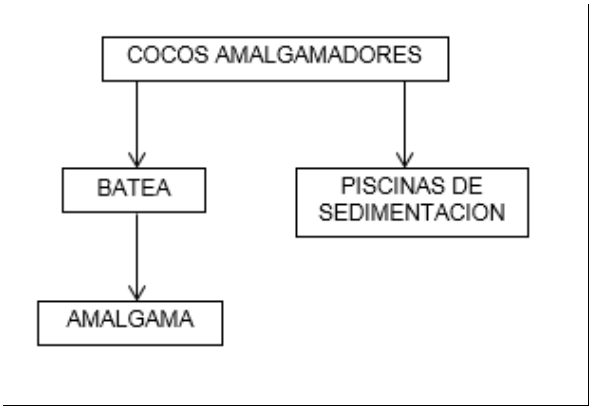
[225] Op. Cit.

solo en la parte del beneficio del mineral, el proceso se divide en dos etapas: molienda y amalgamación.

La UPM 13300O09 se encuentra localizada en el municipio de Hatillo de Loba, procesan 27 toneladas mensuales, laboran 240 horas al mes, sus operaciones de extracción no tienen un consumo de agua, pero las de beneficio si en la etapa de molienda-Amalgamación.

A continuación se muestran los esquemas actuales de beneficio de las UPM del grupo 1 del distrito minero San Martin de loba.

Ilustración 34. Esquema de beneficio de oro grupo 01 distrito minero San Martin de Loba



Para este primer grupo de UPM lo primero que se plantea es la sustitución del uso del mercurio por una concentración gravimétrica en un Jig o una mesa vibratoria y una concentración centrifuga en un Knelson o un falcon que permitan recuperar el oro libre que se recuperaba con la utilización del mercurio, vale aclarar que antes de la etapa de concentración mineral se debe garantizar tamaños de partículas muy finos que permitan liberar el oro con mayor precisión a la hora de la concentración, lo segundo que aplicaría seria completar el circuito de beneficio del metal, ya que está incompleto (no recuperan el oro asociado a los sulfuros), se plantea que se complete el proceso, las colas de la amalgamación que ahora serían las corrientes gruesas de los concentradores se deben lixiviar con cianuro mediante un proceso de cianuración por agitación para así recuperar el oro diseminado que se encuentra en medio de los sulfuros asociados a los depósitos, para posteriormente realizar un proceso de merril crowe que me permita precipitar el oro del cianuro y así poder llevarlo hasta la etapa de fundición.

La UPM 13300O09 realizo varios estudios metalúrgicos a su depósito mineral y realizo en un laboratorio un diseño de planta metalúrgica en el que se proponen alternativas como: Trituradoras de mandíbulas, molinos de bolas, pulverizadora, knelson, mesa vibratoria, cianuración y proceso merril crowe.

En todos los entables de la UPM 13667O04, sucede lo mismo que en las UPM 05736O05, la UPM 05736O03 y la UPM 05736O04 del distrito minero Nordeste Antioqueño juega un papel clave el hecho de que cada minero valla a procesar su mena, ya que esto implica que no se puede proponer un esquema de beneficio continuo, debido a que cada mineral es distinto y de un dueño diferente, por lo tanto a la hora de realizar circuitos cerrados y continuos no se podría diferenciar a quien pertenece cada mineral, por lo que se propone que se continúe con la molienda (pero sin amalgamación) en los cocos y que cada minero concentre su mineral en el los equipos, ya sea Jig, mesa, falcon o Knelson y luego por medio de una batea se recupere el oro libre, y las colas provenientes de los concentradores las vendan al dueño del entable para que este implementando el método descrito anteriormente de cianuración-Merril crowe obtenga el oro asociado a los sulfuros.

En la Tabla 149 se resumen las tecnologías que actualmente implementan las UPMs mencionadas en cada operación unitaria y se mencionan algunos equipos descritos anteriormente que pueden ser tomados en cuenta para complementar procesos o sustituir dispositivos que utilicen.

Tabla 149. Tecnologías Grupo 01 DM San Martin de Loba

Operación Unitaria	TECNOLOGIAS IMPLEMENTADAS ACTUALMENTE EN LAS UPM					Tecnologías alternativas
	UPM 13030O05	UPM 13667O04-1	UPM 13667O04-2	UPM 13667O04-3	UPM 13300O09	
Trituración	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Trituradora de Quijadas
Molienda	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Molino de bolas Cocos Moledores
Clasificación	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales Hidrociclón
Concentración Gravimétrica	Batea	Batea	Batea	Batea	Batea	Jig Mesa
Concentración Centrifuga	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Knelson Falcon
Lixiviación	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Cianuración por agitación
Recuperación Au	Amalgamación	Amalgamación	Amalgamación	Amalgamación	Amalgamación	Proceso Merril Crowe

b. Grupo 2

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que cuentan con una mina donde se realiza la extracción del mineral que se suministra a la planta de beneficio, además dentro de su proceso de beneficio las 4 cuentan con el mismo esquema de recuperación del oro que consiste en una molienda-amalgamación y a las colas provenientes de este proceso anterior se le realiza una cianuración por percolación.

Las UPM que componen el grupo son:

La UPM 13030O06-2 se encuentra localizada en el municipio de Altos del Rosario, procesa mensualmente más o menos 31,2 toneladas, laboran 286 horas al mes, el proceso de beneficio se divide en varias etapas: molienda, amalgamación y cianuración.

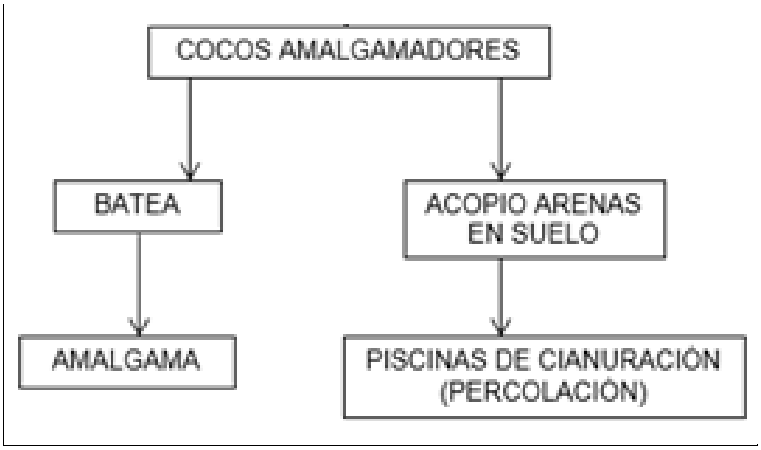
La UPM 13030O06-3 se encuentra localizada en el municipio de Altos del Rosario, procesa mensualmente más o menos 23,4 toneladas, laboran 208 horas al mes, el proceso de beneficio se divide en varias etapas: molienda, amalgamación y cianuración. Las 2 UPM anteriores comparten la etapa de cianuración.

La UPM 13490O02-1 se encuentra localizada en el municipio de Norosi, procesa mensualmente más o menos 8 toneladas, laboran 96 horas al mes, dentro del proceso de extracción del mineral ninguna de las tecnologías tiene una demanda de agua y el proceso de beneficio se divide en varias etapas: molienda, amalgamación y cianuración.

La UPM 13490O02-2 se encuentra localizada en el municipio de Norosi, procesa mensualmente más o menos 27 toneladas, laboran 312 horas al mes, el proceso de beneficio se divide en varias etapas: molienda, amalgamación y cianuración. Las 2 UPM anteriores comparten la etapa de cianuración.

A continuación se muestran los esquemas actuales de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito minero San Martin de Loba

Ilustración 35. Esquema de beneficio de oro en las UPM grupo 02 distrito minero San Martin de Loba



Para este segundo grupo de UPM lo primero que se plantea al igual que en el grupo 1 es la sustitución del uso del mercurio por una concentración gravimétrica en un Jig o una mesa vibratoria y una concentración centrifuga en un Knelson o un falcon que permitan recuperar el oro libre que se recuperaba con la utilización del mercurio, vale aclarar que antes de la etapa de concentración mineral se debe garantizar tamaños de partículas muy finos que permitan liberar el oro con mayor precisión a la hora de la concentración, lo segundo que aplicaría seria sustituir el proceso de lixiviación por percolación por uno por agitación, seguido de un merril crowe, para así recuperar el oro diseminado que se encuentra en medio de los sulfuros asociados a los depósitos.

En las UPM 13033O06-2 y 13033O06-3, sucede lo mismo que en las UPM 13667O04-1, 13667O04-2 y 13667O04-3 del grupo 1 del distrito minero, donde juega un papel clave el hecho de que cada minero valla a procesar su mena, por lo que se plantea la misma sugerencia que en la anterior.

En la Tabla 150 se resumen las tecnologías que actualmente implementan las UPMs mencionadas en cada operación unitaria y se mencionan algunos equipos descritos anteriormente que pueden ser tomados en cuenta para complementar procesos o sustituir dispositivos que utilicen.

Tabla 150. Tecnologías Grupo 01 DM San Martin de Loba

Operación Unitaria	Tecnologías implementadas				Tecnologías alternativas
	UPM 13030O06-2	UPM 13030O06-3	UPM 13490O02-1	UPM 13490O02-2	
Trituración	No implementan	Trituradora de Quijadas	No implementan	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas
Molienda	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	Molino de bolas
					Cocos Moledores
Clasificación	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales
Concentración Gravimétrica	Batea	Batea	Batea	Batea	Jig
					Mesa
Concentración Centrifuga	No implementan	No implementan	No implementan	No implementan	Knelson
					Falcon
Lixiviación	Cianuración por percolación	Cianuración por percolación	Cianuración por percolación	Cianuración por percolación	Cianuración por agitación
Recuperación Au	Amalgamación	Amalgamación	Amalgamación	Amalgamación	Proceso Merril Crowe

c. Grupo 3

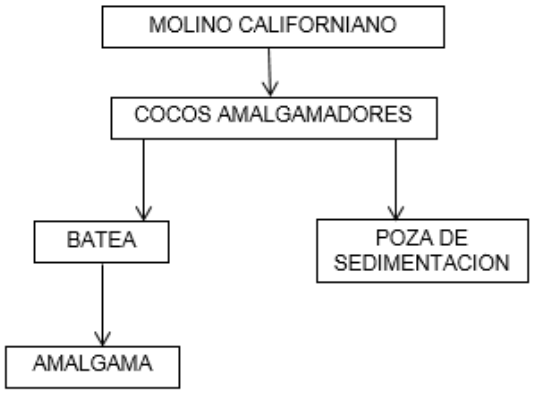
Contiene dos unidades de producción, una del municipio de San Martin y la otra en Altos del Rosario. Se caracterizan por combinar un proceso de conminución en molinos californianos, recolectar una parte del concentrado en tapetes y luego moles el material en cocos amalgamadores. Las unidades que conformar en grupo son:

La UPM 13667O10, se encuentra ubicada en el municipio de San Martín de Loba. Procesan alrededor de 12 toneladas por día de trabajo y laboran 208 horas al mes aproximadamente. No reportan datos sobre la producción mensual de oro.

La UPM 13030O06-1, se encuentra ubicada en el municipio de Altos del Rosario. Procesan alrededor de 5 toneladas por día de trabajo y laboran 600 horas al mes aproximadamente. No reportan datos sobre la producción mensual de oro.

La Ilustración 36 expone el esquema del proceso de beneficio en las UPMs de este grupo. Con la salvedad que en la UPM 13030O06-1 los lodos se someten a un proceso de cianuración por percolación posterior.

Ilustración 36. Esquema del proceso de beneficio UPMs grupo 3 DM San Martín de Loba



En estas unidades de producción se presentan varias situaciones proclives de mejora.

Los molinos californianos implican el uso de un caudal alto y no generan la reducción de tamaño con DTP más uniforme. Pensar en la sustitución de estos equipos por máquinas de trituración (como trituradoras de quijadas por ejemplo) permitiría la eliminación de un proceso que utiliza agua frente a otro que puede hacerse en vía seca.

La molienda en cocos amalgamadores es una actividad nociva al medio ambiente por las emisiones de mercurio que genera al aire, agua y en los lodos residuales. De acuerdo con la investigación realizada por CPGMAE (2015), operaciones de concentración gravimétrica y centrífuga evaluados en unidades de producción de diversos departamentos, entre ellos Bolívar, han mostrado resultados interesantes frente a los porcentajes de recuperación de oro libre que proveen, y se perfilan como una opción viable para la sustitución del uso de mercurio.

Finalmente, la cianuración de los lodos remanentes de la amalgamación, además de ser una práctica altamente contaminante por los compuestos de cianuro-mercurio que se forman (y que son descritos al inicio de esta sección), se ejecuta sin un proceso de concentración previo, por lo que no se han aumentado los tenores de los lodos que entran al proceso y se reduce la eficiencia del proceso.

En la Tabla 151 se presentan las tecnologías usadas actualmente en los procesos de beneficio y algunas alternativas a tomar en cuenta

Tabla 151. Tecnologías grupo 3 de UPMs en DM San Martín de Loba

Operación Unitaria	Tecnología actual en la UPM		Tecnologías alternativas
	13667O10	13030O06-1	
Trituración	No implementan	No implementan	Trituradora de quijadas
Molienda	Molino Californiano	Molino Californiano	Molino de bolas
	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	
Concentración	Lavado en batea	Lavado en batea	Canalones
			Jigs
		Tapetes	Mesas Vibratorias
			Falcon
Lixiviación	No implementan	Cianuración por percolación	Cianuración por agitación

d. Grupo 4.

Lo componen 3 unidades de producción, pertenecientes 2 de ellas al municipio de Norosí y la otra al municipio de San Martín de Loba. Estas implementan operaciones de conminución, concentración, clasificación y cianuración. Además no utilizan mercurio en sus procesos de beneficio. Estas son:

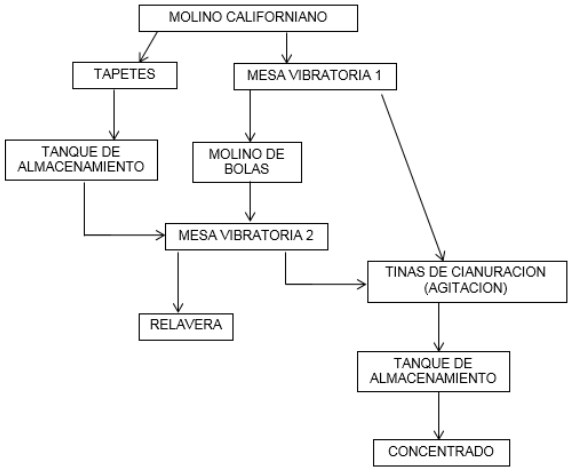
La UPM 13490O01, se encuentra ubicada en el municipio de Norosí. Procesan alrededor de 0.45 toneladas por día de trabajo y laboran 140 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 140 gr.

La UPM 13667O03, se encuentra ubicada en el municipio de San Martín de Loba. Procesan alrededor de 20 toneladas por día de trabajo y laboran 400 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 1500gr - 2000gr.

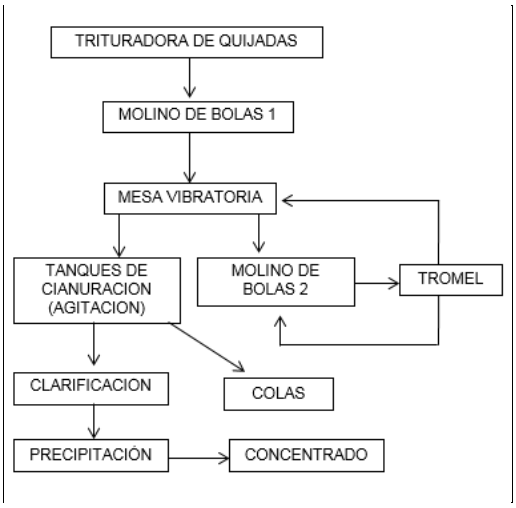
La UPM 13667O07, se encuentra ubicada en el municipio de San Martin de Loba. Procesan alrededor de 20 toneladas por día de trabajo y laboran 360 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 2000gr.

La Ilustración 37, reflejan respectivamente los esquemas de los procesos de beneficio en las unidades de producción13490O01, 13667O03 y 13667O07.

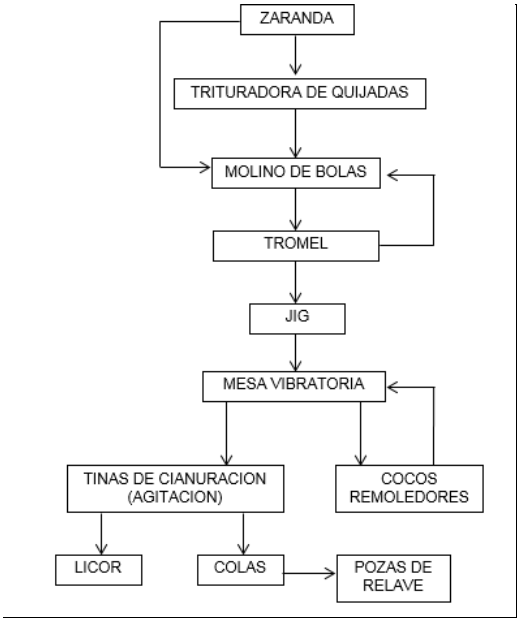
Ilustración 37. Esquema del proceso de beneficio UPMs



Esquema UPM 13490O01



Esquema UPM 13667O03



Esquema UPM 13667O07

En estas UPMs la atención puede dirigirse en dos sentidos:

Por un lado, evaluar si las operaciones de reducción de tamaño, clasificación y concentración son efectivas y apropiadas para las condiciones particulares del material que procesan. Esto por supuesto debe partir de la caracterización de la mena y el estudio

de sus características. Sustituir equipos como los molinos californianos por otros que funcionen en vía seca, utilicen menos agua o den al menos una mejor granulometría del material procesado es una alternativa en particular importante para la UPM 13490O01. Así mismo, estudiar la posibilidad de integrar equipos de clasificación (como hidrociclones por ejemplo) permitiría implementar circuitos cerrados de molienda, que en teoría, contribuiría a obtener mejores resultados de la mineralurgia.

Por otra parte, enfocarse en el proceso de lixiviación (evaluar las condiciones en que se lleva a cabo el mismo y determinar si son las más apropiadas) y en la recuperación posterior del oro de la solución rica generada durante la cianuración. El proceso de merril-crowe es implementado de manera incompleta, esto reduce la eficiencia del mismo y por lo tanto el porcentaje de valores obtenidos al final del mismo. La etapa de desoxigenación es clave para garantizar condiciones óptimas durante el precipitado, por lo que incluirla en el proceso es un aspecto importante.

Seguido, en la Tabla 152, se muestra un resumen de las operaciones unitarias de cada unidad de producción, los equipos que utilizan y algunos que podrían tomarse en cuenta para complementar o sustituir tecnologías.

Tabla 152. Tecnologías grupo 4 de UPMs en DM San Martín de Loba

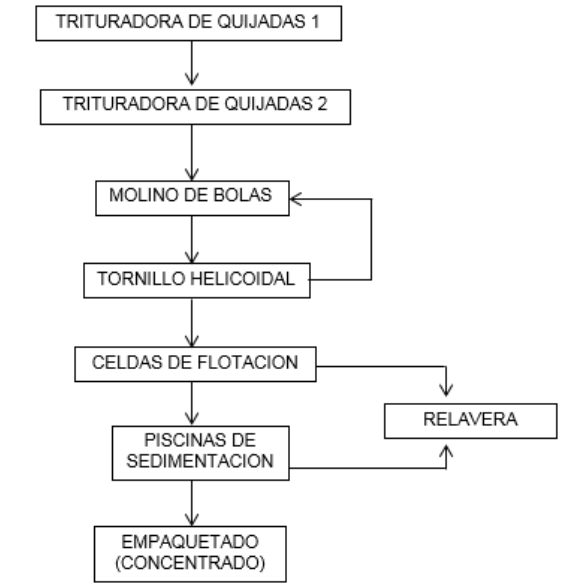
Operación Unitaria	Tecnología actual en la UPM			Tecnologías alternativas
	UPM 13490O01	UPM 13667O03	UPM 13667O07	
Trituración	No implementan	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas
Molienda	Molino californiano Molino de bolas	Molino de bolas	Molino de bolas Cocos Moledores	Molino de bolas
Clasificación	No implementan	Tromel	Tromel Zaranda	Hidrociclones Tornillos helicoidales
Concentración	Mesa Vibratoria Tapetes	Mesa Vibratoria	Jig Mesa Vibratoria	Canalones Falcon
Lixiviación	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación	Cianuración por agitación
Recuperación Au	Clarificación Precipitado	Clarificación Precipitado	No se ejecuta dentro de la planta	Torre de vacío Filtro-prensa

A continuación la UPM 13667O08 se va a analizar por separada, debido a que es la UPM con mayor tecnificación del distrito.

e. UPM 13667O08

Esta es la unidad de producción minera con mayor tecnificación y capacidad instalada dentro de las que fueron cubiertas por el proyecto en este distrito minero. Se encuentra ubicada en el municipio de San Martin de Loba. Procesan alrededor de 90 toneladas por día de trabajo y laboran 600 horas al mes aproximadamente. Al tratarse de una planta de concentración mineral no reportan una producción mensual de oro. La Ilustración 38 muestra el esquema del proceso de beneficio en la planta de concentración.

Ilustración 38. Esquema del proceso de beneficio UPM 13667O08



En esta unidad en particular podría pensarse en la optimización del uso del recurso hídrico dando un avance hacia el control del proceso. Tomar en cuenta acciones como la instalación medidores de caudal, por ejemplo.

Específicamente, la operación unitaria de flotación demanda una gran cantidad de agua. Establecer medidas para recolección, tratamiento y reutilización del recurso hídrico involucrado en este proceso es un punto neurálgico. Una posible forma de enfocarlo, sería con la implementación de un espesador de la pulpa que se vierte a la relavera, con la intención de implementar un sistema de vertimiento tipo pasta. Estos se caracterizan porque “mientras que en el método convencional de vertido de lodos el contenido de sólidos en suspensión oscila entre 30 y 50 %, en el caso de las pastas este contenido puede oscilar entre 65 y 80 %. El espesamiento de los lodos en un 30 a 75 % logra una

reducción de la cantidad de agua en balsas de lodos de cerca del 85 %. Esto significa que por su consistencia la pasta en general, no puede ser bombeada con una bomba centrifuga, sino más bien con una bomba de pistón, y el material fluye a través de un conducto hasta el punto de vertido" (Loredo et al, 2009).

Para finalizar, en la Tabla 153 contiene las tecnologías usadas en cada operación unitaria en la UPM 13667O08.

Tabla 153. Tecnologías utilizadas UPM 13667O08

Operación Unitaria	Tecnología implementada
Trituración	Trituradora de quijadas
Molienda	Molino de bolas
Clasificación	Tornillo Helicoidal
Concentración	Celdas de flotación

2.2.1.3. Distrito minero del Tambo (Cauca)

El distrito minero de Tambo-Buenos Aires está compuesto por 5 municipios pertenecientes al departamento de Cauca, en el proyecto se estudian UPMs en los municipios de: Tambo, Buenos Aires y Suárez. Además se incluye una UPM en el municipio de Rosas aunque este último no hace parte del distrito.

El contexto de las plantas de beneficio mineral en este distrito se divide en 3 situaciones: los entables donde se implementan amalgamación, las plantas donde realizan lixiviación mediante cianuración y las operaciones donde se combina ambos métodos y se procesan concentrados contaminados con mercurio. La orientación de las propuestas es por un lado, sustituir la amalgamación por técnicas que no involucren el uso de mercurio, y por el otro, optimizar en la medida de las posibilidades de cada UPM el uso del recurso hídrico dentro del proceso.

Las UPM se afilian en 3 grupos para su análisis, pero quedan 3 unidades por fuera que se abordaran de manera individual. A continuación se presenta cada una de los conjuntos.

a. Grupo 1

Reúne 2 unidades de producción del municipio de Suárez y una del municipio de Rosas. Estas se caracterizan por utilizar molienda con mercurio y recolectar la amalgama que es quemada posteriormente en compraventas. Las UPM son:

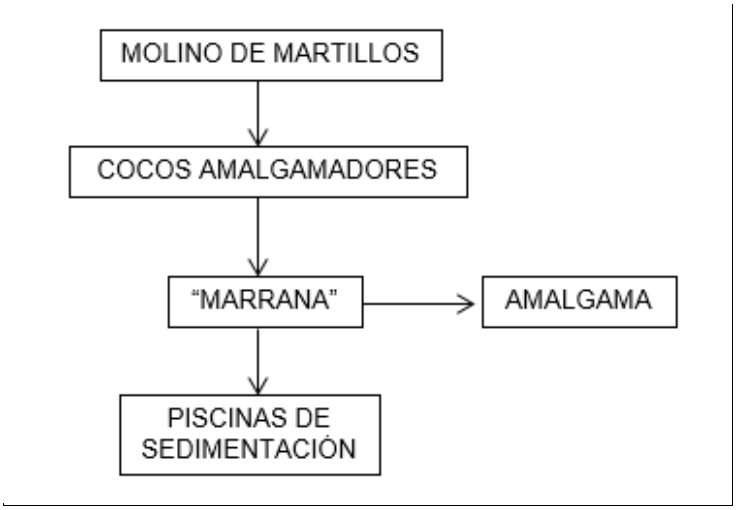
La UPM 19780O01, se encuentra ubicada en el municipio de Suárez. Procesan alrededor de 1 toneladas por día de trabajo y laboran 288 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 30 - 80gr.

La UPM 19780O02, se encuentra ubicada en el municipio de Suárez. Procesan alrededor de 0.3 toneladas por día de trabajo y laboran 144 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 250 - 300gr.

La UPM (Sector) 19622O10, se encuentra ubicada en el municipio de Rosas. Procesan alrededor de 0.3 toneladas por día de trabajo y laboran 160 horas al mes aproximadamente. Debido a que el dueño del entable es el encargado de la quema final de amalgama (que se hace fuera de las instalaciones) no reportan un dato de producción mensual de oro.

La Ilustración 39 refleja el diagrama de flujo del proceso de beneficio implementado en estas unidades de producción, con excepción de la UPM 19622O10 que lleva el material directamente a los cocos amalgamadores.

Ilustración 39. Esquema de beneficio UPMs Grupo 1 DM Tambo-Buenos Aires



Para este grupo de UPMs el rumbo es hacia la conversión a tecnologías libres de mercurio. El diseño de un proceso de beneficio requiere, en primer lugar, la caracterización de las especies minerales presentes en el depósito explotado, pues a partir de estas condiciones se eligen las operaciones y equipos más adecuados. Sin

embargo, se hace mención de algunas operaciones y tecnologías que usualmente funcionan para recuperar el oro libre y que pueden sustituir el uso de la amalgama.

Dentro de las operaciones unitarias para sustituir el uso de mercurio, sobresalen algunas como la instalación de etapas de concentración gravimétrica y centrífuga. Según los estudios del proyecto “Tecnologías limpias para la disminución o eliminación del uso de mercurio en la recuperación de oro” adelantado por el Centro Provincial de Gestión Minero Agro Empresarial (2015) el implemento de equipos como JIGs y concentradores Falcon arrojan resultados prometedores (y en cuya investigación debe profundizarse) para el beneficio de mineral aurífero que sustituya el uso de mercurio. Así mismo, debe tomarse en cuenta si el proceso de reducción de tamaño actual es efectivo y logra dar el grado de liberación adecuado a las partículas para las etapas posteriores.

Cabe mencionar que las UPM 19780O01 y 19780O02 acopian las arenas resultantes de la molienda con mercurio para venderlas a terceros. El acopio de estas debe corregirse pues se hace a la intemperie, lo que permite la filtración de contaminantes y su transporte por escorrentía cuando hay precipitaciones. Igualmente, la cianuración de este material contaminado genera la formación de compuestos de cianuro-mercurio, esto es otra razón de peso que exhorta a sustitución de los procesos de amalgamación.

La Tabla 154 resume los equipos usados en las UPMs y algunas de las tecnologías libres de mercurio que pueden ser tomadas en cuenta.

Tabla 154. Tecnologías grupo 1 de UPM en DM Tambo-Buenos Aires

Operación Unitaria	Tecnología implementada actualmente en la UPM			Tecnologías alternativas
	19780O01	19780O02	19622O10	
Trituración	No implementan	No implementan	No implementan	Trituradora de Quijadas
Molienda	Molino de Martillos	Molino de Martillos	Cocos Amalgamadores	Molino de bolas
	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores		
Clasificación	No implementan	No implementan	No implementan	Tromel
				Tornillos Helicoidales
				Criba
Concentración	"Marrana"	"Marrana"	"Marrana"	Mesas Vibratoria
				Canalones
	Lavado en batea	Lavado en batea	Lavado en batea	Falcon
				JIG

b. Grupo 2

Este conjunto comprende 2 unidades de producción del municipio de El Tambo. En ambas se realiza una reducción de tamaño del material que llega de mina, molienda con

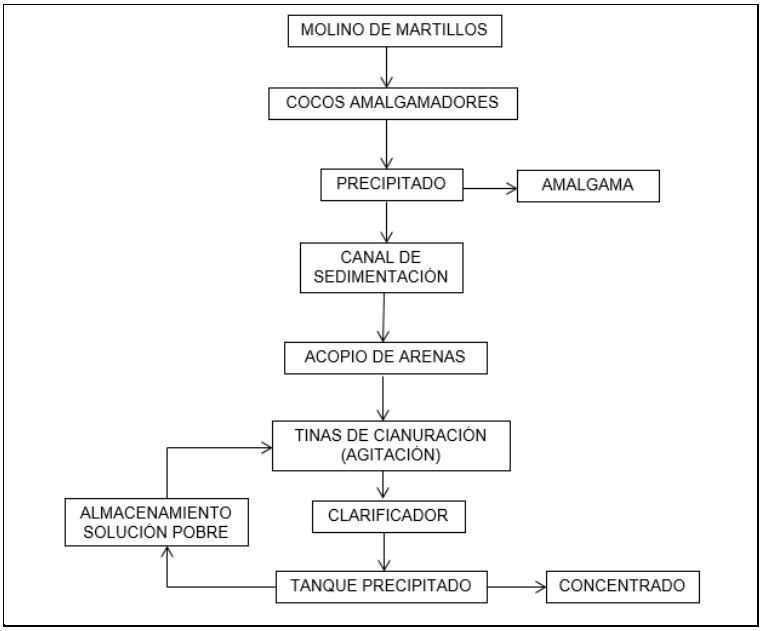
mercurio, recolección de la amalgama y acopio de las arenas resultantes para su posterior cianuración.

La UPM 19256O07, se encuentra ubicada en el municipio de El Tambo. Procesan alrededor de 1 toneladas por día de trabajo y laboran 192 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 200 - 250gr.

La UPM 19256O08, se encuentra ubicada en el municipio de El Tambo. Procesan material según la disponibilidad que tengan, es decir, la afluencia de terceros al entable y en consecuencia la disponibilidad de arenas para cianurar. Laboran 192 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 160gr.

La Ilustración 40 muestra el esquema del proceso implementado en las unidades de producción para el beneficio mineral.

Ilustración 40. Esquema de beneficio UPMs Grupo 2 DM Tambo-Buenos Aires



En estas UPMs se ponen de manifiesto dos de las situaciones descritas en principio. El uso de mercurio para recuperar oro libre y la cianuración posterior de las arenas generadas en el proceso. Los efectos ambientales nocivos ya han sido mencionados con anterioridad en el texto, pero vale la pena recalcar en la necesidad urgente de buscar alternativas al uso de la amalgama.

Al igual que para el grupo 1 pueden considerarse operaciones de concentración que estén orientadas a la recuperación de oro libre y, en esa dirección, la eliminación del mercurio dentro del proceso.

Un aspecto de mucha importancia es que este grupo de UPMs no implementan ninguna operación unitaria de concentración para las arenas que resultan luego de la molienda en los cocos amalgamadores, esto limita el rendimiento de la cianuración posterior pues los tenores del material que ingresa al proceso no se han enriquecido. Para este aspecto pueden tomarse en cuenta, por ejemplo, equipos como jigs o mesas vibratorias, que permiten obtener una corriente concentrada y por tanto mejorar la eficiencia de los procesos hidrometalúrgicos.

En este sentido, el acopio del material que fue molido en los cocos amalgamadores se hace en pilas a intemperie, acción que debe corregirse pues promueve la filtración de contaminantes y permite la pérdida de arenas (que además contienen mercurio) a través de la escorrentía cuando hay lluvias.

Por otra parte, también debe tomarse en cuenta que el proceso de merril-crowe implementado en las unidades de producción no está completo. Pensar en la instalación de torres de vacío y filtro-prensa ofrecería unas mejores condiciones para la recuperación del oro presente en la solución con cianuro y la posterior fundición del precipitado.

La Tabla 155 contiene un resumen de las operaciones unitarias de estas UPMs y algunas de las tecnologías que pueden ser tomadas en cuenta para sustituir el mercurio y complementar el proceso de beneficio.

Tabla 155. Tecnologías grupo 2 de UPMs en DM Tambo-Buenos Aires

Operación Unitaria	Tecnología actual en la UPM		Tecnologías alternativas
	19256O07	19256O08	
Trituración	No implementan	No implementan	Trituradora de quijadas
Molienda	Molino de Martillos	Molino de Martillos	Molino de bolas
	Cocos Amalgamadores	Cocos Amalgamadores	
Clasificación	No implementan	No implementan	Tromel
Concentración	Balde (recolección amalgama)	Balde (recolección amalgama)	Mesas Vibratoria
			Canalones
Lixiviación	Cianuración	Cianuración	
Recuperación Au	Alberca de clarificación	Alberca de clarificación	Filtro Prensa
	Tanque de precipitado	Tanque de precipitado	Torre de vacío

a. Grupo 3

Estas unidades de producción tienen en común que actualmente implementan procesos de molienda en cocos y recolección de la amalgama en “marrana”. Previamente ejecutan

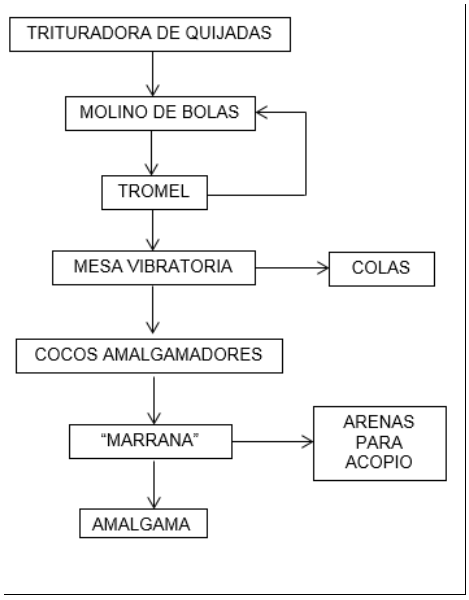
operaciones de conminución y concentración. Sin embargo, el aspecto más importante que comparten es que actualmente se encuentran en el proceso de análisis, adquisición de equipos, construcción y montaje de tecnologías para beneficio mineral que utilicen mercurio.

La UPM 19110O05, se encuentra ubicada en el municipio de Buenos Aires. Procesan alrededor de 15 toneladas por día de trabajo y laboran 360 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 500 - 2000gr.

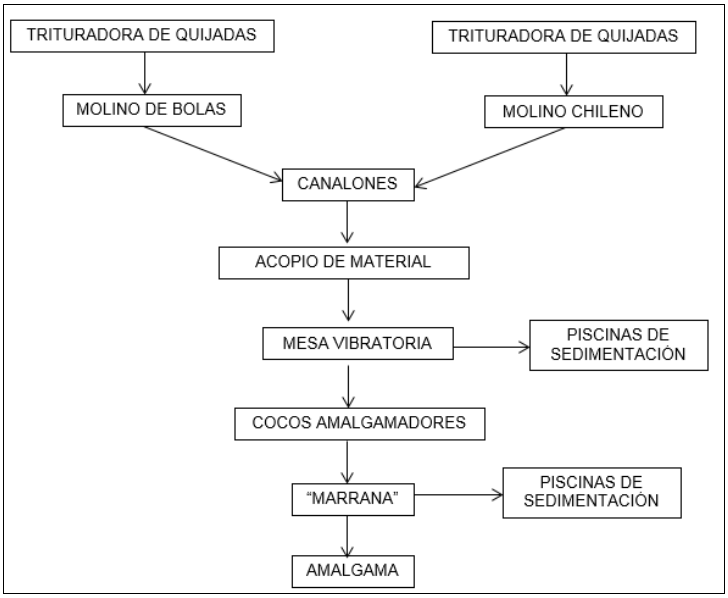
La UPM 19110O04, se encuentra ubicada en el municipio de Buenos Aires. Procesan alrededor de 30 toneladas por día de trabajo y laboran 400 horas al mes aproximadamente. No suministra datos sobre producción de oro.

Las Ilustración 41 los procesos de beneficio (actuales) de las unidades de producción en cuestión.

Ilustración 41. Esquema de beneficio UPM 19110O05 y 19110O04



Esquema de beneficio UPM 19110O05



Esquema de beneficio UPM 19110O04

En particular el análisis de estas dos unidades de producción debe contextualizarse en la elección de las alternativas más adecuadas para cambiar su proceso de beneficio.

Es importante el análisis de las características del mineral que procesan en cada UPM, para determinar las condiciones óptimas de cianuración, el requerimiento o no de pre-tratamiento (algunas menas contienen minerales cianicidas) y controlar de forma efectiva los requerimientos de recurso hídrico entre en funcionamiento esta operación unitaria.

De la misma manera, examinar las operaciones de conminución y determinar si son realmente tan efectivas como deberían es una actividad crucial para llevar a punto el funcionamiento de una planta, a partir de esto puede pensarse o no en etapas de trituración secundaria previas a la molienda.

En la Tabla 156 se presentan las tecnologías usadas actualmente en los procesos de beneficio y algunas alternativas a tomar en cuenta.

Tabla 156. Tecnologías grupo 3 de UPMs en DM Tambo-Buenos Aires

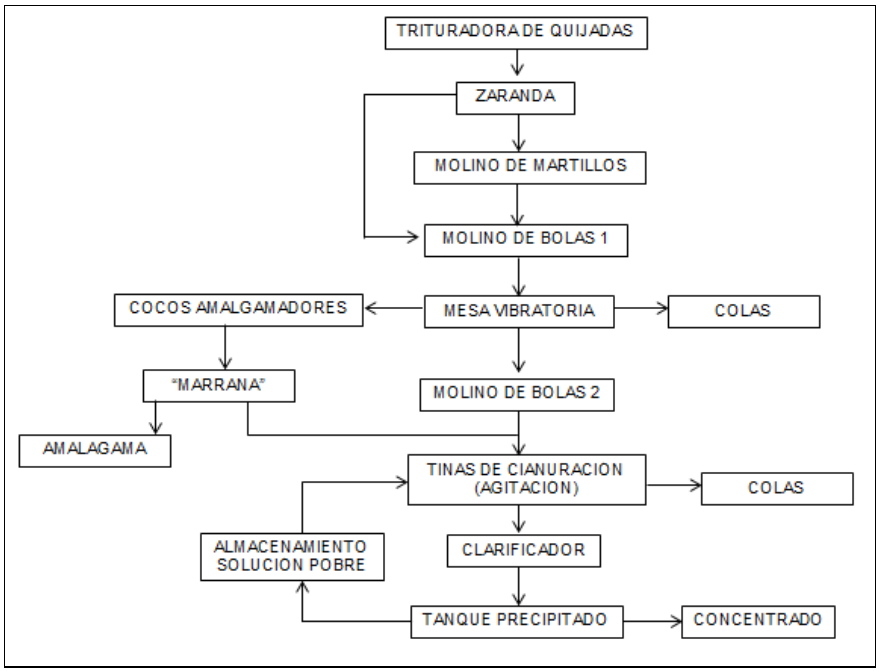
Operación Unitaria	Tecnología actual en la UPM		Tecnologías alternativas
	19110O05	19110O04	
Trituración	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Rodillos
Molienda	Molino de bolas	Molino de bolas	Molino de bolas
		Molino Chileno	Molino Chileno
	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores
Clasificación	Tromel	No implementan	Tornillos Helicoidales
			Hidrociclón
			Criba
Concentración	Mesas Vibratoria	Mesas Vibratoria	Jig
			Knelson
	"Marrana"	Canalones	Falcón
		"Marrana"	Celdas de Flotación
Lixiviación	Construcción y montaje	Construcción y montaje	Cianuración y Merril Crowe
Recuperación Au			

a. UPM 19256O06

Se encuentra ubicada en el municipio de El Tambo. Procesan alrededor de 6 toneladas por día de trabajo y laboran 192 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 500 - 600gr.

Ejecutan operaciones unitarias de trituración, molienda, concentración gravimétrica, amalgamación, cianuración y recuperación de oro. La Ilustración 42 muestra el esquema del proceso de beneficio en la UPM.

Ilustración 42. Esquema del proceso de beneficio UPM 19256O06



En esta unidad de producción, deben tomarse en cuenta varios aspectos:

En primer lugar, la eliminación de la operación unitaria de amalgamación y su sustitución. Para esto pueden tomarse en cuenta, entre otras, operaciones unitarias de concentración gravimétrica y centrífuga orientadas a la obtención de un concentrado de mayor tenor y la recuperación de oro libre grueso especialmente. Esto contribuiría además evitando la cianuración posterior del concentrado que sale de los cocos amalgamadores que contiene trazas de mercurio.

Como segundo punto, el complemento del proceso de recuperación de oro mediante el método de merril-crowe que solo cuenta con la etapa de clarificación y precipitado. Anexar las etapas restantes a través de una torre de vacío y un filtro prensa debe aumentar, en teoría, la eficiencia de este proceso.

Finalmente, considerar la posibilidad de incluir etapas de clasificación (con hidrociclones por ejemplo) que generen circuitos cerrados de molienda y contribuyan a garantizar el tamaño de partícula requerido especialmente en las operaciones de concentración y cianuración.

La Tabla 157 contiene las tecnologías usadas en cada operación unitaria en la UPM El Trío y algunas que podrían tomar en cuenta para complementar o sustituirlas.

Tabla 157. Tecnologías UPM 19256O06

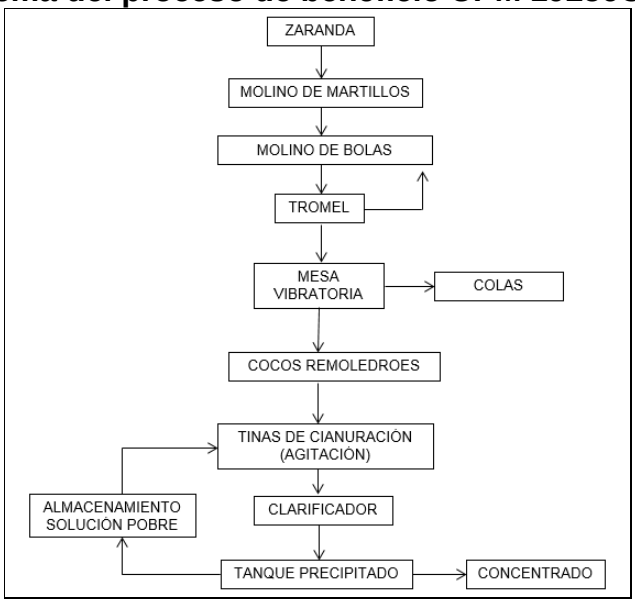
Operación Unitaria	Tecnología implementada actualmente	Tecnologías alternativas
Trituración	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas
Molienda	Molino de bolas continuo	Molino de bolas continuo
	Cocos Moledores	Cocos Moledores
	Molino de Martillos	Molino de Martillos
Clasificación	Zaranda	Tornillos Helicoidales
		Hidrociclón
		Criba
Concentración	Mesas Vibratoria	Jig
		Canalones
	"Marrana"	Falcon
		Celdas de Flotación
Lixiviación	Tina de Cianuración	Tina de Cianuración
Recuperación Au	Alberca de clarificación	Filtro Prensa
	Tanque de precipitado	Torre de vacío

b. UPM 19256O09.

Se encuentra ubicada en el municipio de El Tambo. Procesan alrededor de 12 toneladas por día de trabajo y laboran 576 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 2000 - 2500gr.

Para su proceso de beneficio llevan a cabo una reducción de tamaño del material, clasificación, concentración, re-molienda, cianuración, clarificación y precipitado. La Ilustración 43 muestra el esquema del proceso de beneficio en la UPM.

Ilustración 43. Esquema del proceso de beneficio UPM 19256O09



En esta unidad de producción podría pensarse en la posibilidad de optimizar el uso del recurso hídrico representado en el módulo de consumo de la planta. Si se hiciese un proceso de merrill- crowe completo, donde se incluyeran la desoxigenación de la solución y el prensado del precipitado se obtendría una mayor recuperación de los valores presentes en el licor y se rescataría la mayor cantidad posible de solución pobre. Esto llevaría a disminuir el módulo de consumo y por tanto hacer un uso más eficiente del agua.

Por otro lado, puede considerarse el análisis del proceso de conminución y determinar si el molino de bolas recibe la DTP adecuada para su mayor rendimiento. Así mismo, considerar procesos de concentración y clasificación complementarios para el proceso mineralúrgico previo a la etapa de cianuración.

La Tabla 158 contiene las tecnologías usadas en cada operación unitaria en la UPM 19256O09 y algunas que podrían tomar en cuenta para complementar el proceso de beneficio.

Tabla 158. Tecnologías UPM 19256O09.

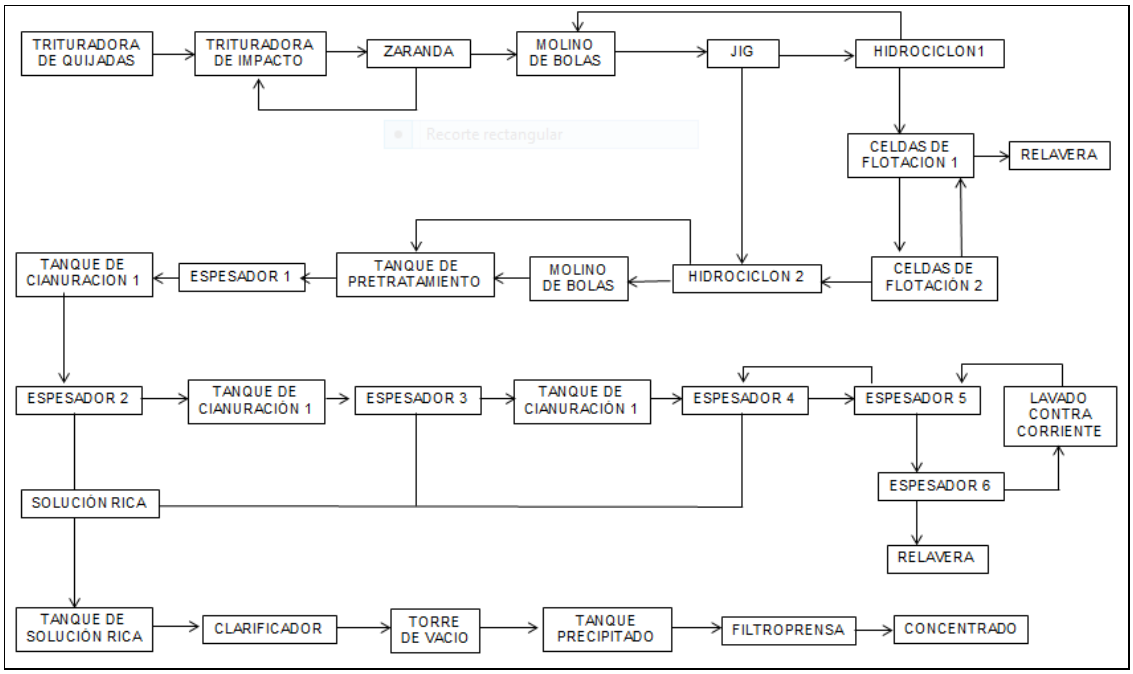
Operación Unitaria	Tecnología utilizada actualmente	Tecnologías alternativas
Trituración	No implementan	Trituradora de Quijadas
Molienda	Molino de Martillos	Molino de Martillos
	Molino de bolas	Molino de bolas
	Cocos Moledores	Cocos Moledores
Clasificación	Tromel	Tornillos Helicoidales
		Hidrocicl6n
		Criba
Concentración	Mesas Vibratoria	Jig
		Canalones
		Knelson
		Falcon
		Celdas de Flotación
Lixiviación	Tina de cianuración	Tina de cianuración
Recuperación Au	Alberca de clarificación	Filtro Prensa
	Tanque de precipitado	Torre de vacío

c. UPM 19110O03.

Se encuentra ubicada en el municipio de Buenos Aires. Procesan alrededor de 200 toneladas por día de trabajo y laboran 720 horas al mes aproximadamente. No revelan información sobre la producción, la fundición del concentrado final se hace fuera de las instalaciones de la UPM.

Es la planta de beneficio de mayor complejidad y capacidad instalada. Ejecutan operaciones unitarias de conminución, concentración gravimétrica, clasificación, flotación, cianuración y recuperación de oro mediante el proceso de merril-crowe. La Ilustración 44 ilustra el esquema del proceso de beneficio en la UPM.

Ilustración 44. Esquema del proceso de beneficio UPM 19110O03



Esta es la UPM con la planta de beneficio más tecnificada y además ejecutan un proceso continuo. En este caso la optimización del uso del recurso hídrico debe plantearse desde la perspectiva del control de proceso. La instalación medidores y la recolección constante de datos son claves para garantizar que una planta funciona en condiciones óptimas. Y en esa dirección deben orientarse las medidas tomadas en la unidad de producción.

La Tabla 159 contiene las tecnologías usadas en cada operación unitaria en la UPM 19110O03.

Tabla 159. Tecnologías implementadas UPM 19110O03

Operación Unitaria	Tecnología implementada
Trituración	Trituradora de quijadas
	Trituradora de impacto
Molienda	Molino de bolas
Clasificación	Hidrociclones
	Zaranda
Concentración	JIG
	Celdas de flotación
Lixiviación	Tanque de cianuración
	Espesadores
Recuperación Au	Clarificador

	Torre de vacío
	Tanque de precipitado
	Filtro-prensa

2.2.1.4. Distrito minero de Marmato (Caldas)

Este distrito minero se compone de los municipios de Marmato, Supía y Quinchía. Para efectos del proyecto se decide asociar las UPM ubicadas en el municipio de Rio Sucio dentro de este. En este las unidades de producción se clasifican en 3 grupos que cobijan operaciones con características similares en su proceso de beneficio. Esto con el fin de facilitar su análisis y de plantear estrategias comunes, tomando en cuenta desde luego, las características particulares más relevantes de cada unidad de producción. A continuación se exponen cada uno de los grupos escogidos.

a. Grupo 1

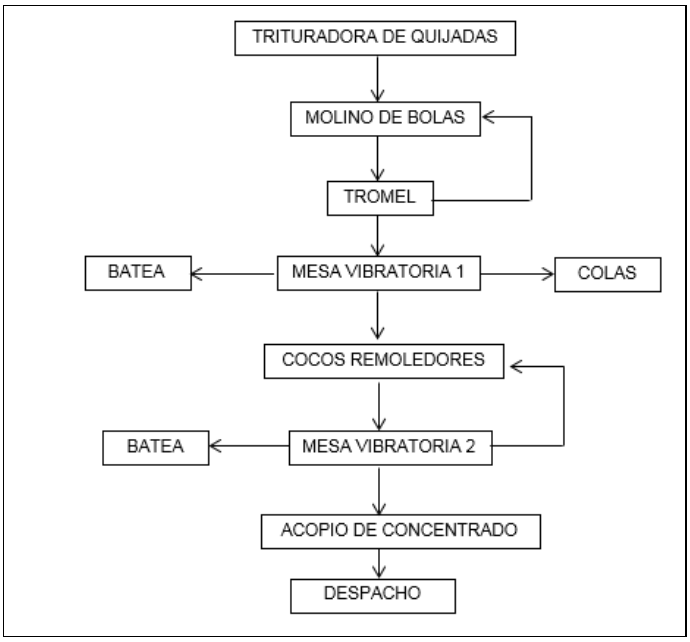
Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que su proceso de beneficio solo llega hasta la etapa de concentración mineral y no aplican métodos de metalurgia extractiva. Una de las UPM pertenece al municipio de Marmato, las otras se localizan en el municipio de Rio Sucio, dentro de un resguardo indígena, estas no utilizan mercurio o cianuro en sus procesos pues las autoridades del resguardo lo tienen expresamente prohibido. Las UPM que componen el grupo son:

La UPM 17442O02, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 10 toneladas por día de trabajo y laboran 240 horas en mes aproximadamente. No reporta datos sobre producción de oro.

La UPM 17614O06, se encuentra ubicada en el municipio de Rio Sucio. Procesan alrededor de 8 toneladas por día de trabajo y laboran 416 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro que oscila entre 200gr hasta 700 gr.

La Ilustración 45 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio, que es idéntico, para ambas UPM.

Ilustración 45. Esquema de beneficio UPMs 17442O02 y 17614O06

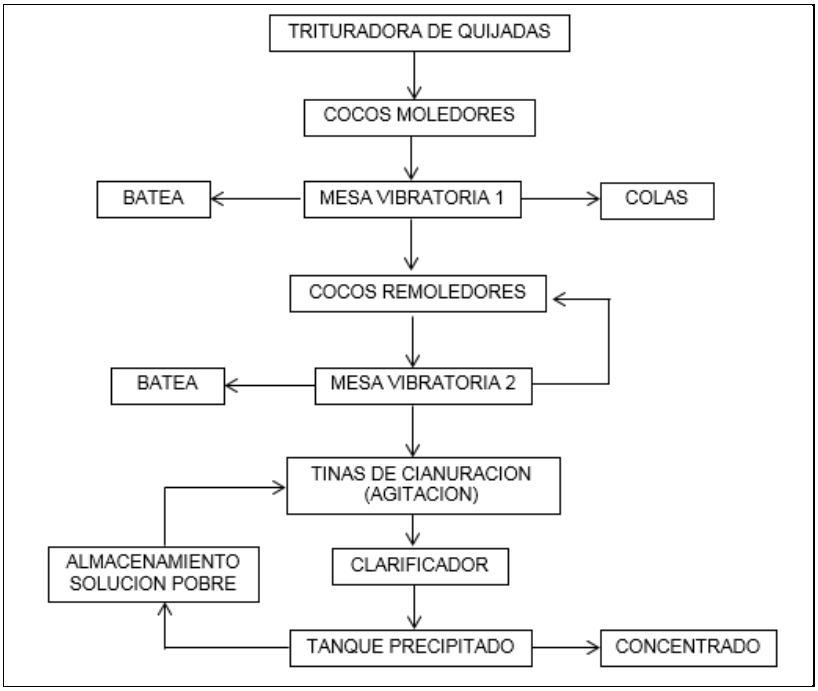


La UPM 17614O07, se encuentra ubicada en el municipio de Rio Sucio. Procesan alrededor de 4 toneladas por día de trabajo y laboran 442 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro cercana a 400 gr.

La UPM 17614O10, se encuentra ubicada en el municipio de Rio Sucio. Procesan alrededor de 1 toneladas por día de trabajo y laboran 208 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro que oscila entre 50gr hasta 300 gr.

La Ilustración 46 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio, que es idéntico, para ambas UPM.

Ilustración 46. Esquema de beneficio UPMs 17614O07 y 17614O10



Para este conjunto de UPMs el enfoque de mejora en los procesos puede orientarse hacia la eficacia de la separación sólido-sólido y el aumento de la recuperación oro libre. Para conseguir este objetivo debe partirse de un estudio de las condiciones de la operación y las características de la mena. Esto permitirá identificar si la conminución del mineral es eficiente y si se consigue una DTP (Distribución de tamaño de partícula) adecuada para la concentración gravimétrica que ejecutan.

Una vez se tengan resultados, pensar en operaciones de concentración complementarias como la utilización JIGs o concentradores centrífugos con la intención de optimizar la recuperación de oro libre grueso, la instalación de clasificadores (hidrociclones por ejemplo) para generar circuitos cerrados de molienda y procesos de trituración secundaria serían opciones a tomar en cuenta.

En el caso particular de la UPM 17442O02 podría considerarse además el montaje de celdas de flotación. Esta operación permite en teoría obtener concentrados con un aumento considerable de tenor y la reducción del tonelaje a manejar. Así mismo, considerar el montaje de operaciones unitarias de lixiviación y recuperación de oro en las instalaciones permitiría recuperar una mayor parte de los valores presentes en la mineralización.

En la Tabla 160 se resumen las tecnologías que actualmente implementan las UPMs mencionadas en cada operación unitaria y se mencionan algunos equipos que pueden ser tomados en cuenta para complementar procesos o sustituir dispositivos que utilicen.

Tabla 160. Tecnologías grupo 1 de UPM en DM Marmato

Operación Unitaria	Tecnología implementada actualmente				Tecnologías alternativas
	UPM 7442O02	UPM 7614O06	UPM 17614O07	UPM 17614O10	
Trituración	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas	Trituradora de Rodillos
Molienda	Molino de bolas Cocos Moledores	Molino de bolas Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Molino de bolas
Clasificación	Tromel	Tromel	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales Hidrociclón
Concentración	Mesa vibratoria	Mesa vibratoria	Mesa vibratoria	Mesa vibratoria	Jig Canalones
	Lavado en batea	Lavado en batea	Lavado en batea	Lavado en batea	Knelson Falcon

b. Grupo 2

Este conjunto se compone de 4 unidades de producción con un mismo esquema en su proceso de beneficio, las operaciones unitarias que implementan se organizan de la misma forma. Realizan reducción de tamaño, concentración mineral, recuperación de oro libre y lixiviación de concentrados por medio de cianuración. La recuperación del oro de la solución cianurada se hace mediante el proceso de merril-crowe. Las UPMs son las siguientes:

La UPM 17442O01, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 20 toneladas por día de trabajo y laboran 520 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro que oscila entre 650gr hasta 700 gr.

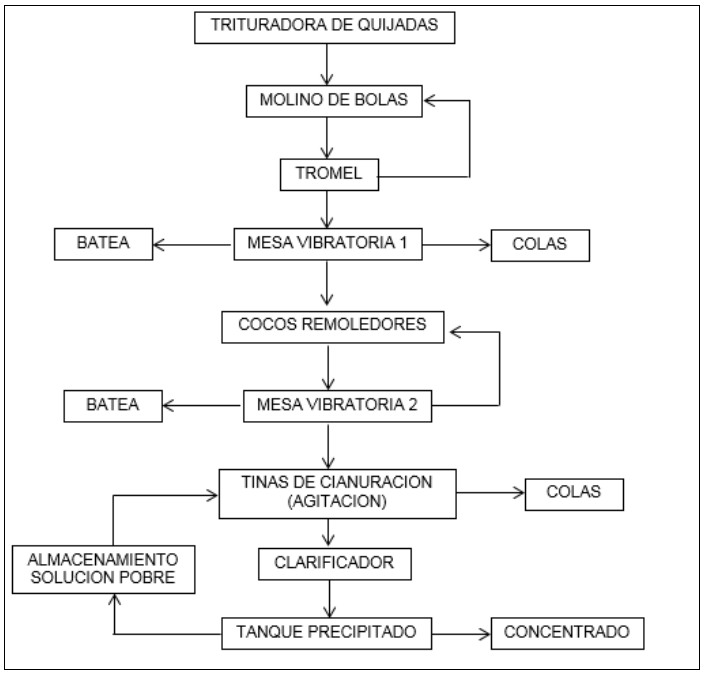
La UPM 17442O04, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 27 toneladas por día de trabajo y laboran 624 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro cercana a 1500 gr.

La UPM 17442O05, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 28 toneladas por día de trabajo y laboran 624 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro cercana a 900 gr.

La UPM 17442O03, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 28 toneladas por día de trabajo y laboran 468 horas al mes aproximadamente. Al momento de la visita el entrevistado prefiere no revelar información sobre la producción mensual de oro.

La Ilustración 47 muestra el diagrama de flujo que implementan las UPMs anteriores en su proceso de beneficio.

Ilustración 47. Esquema de beneficio UPMs grupo 2 DM Marmato



Ciertamente se requiere conocer las condiciones particulares del material que procesa cada UPM para tomar decisiones acertadas sobre el mejoramiento de los procesos, por lo que la caracterización de las especies minerales es el punto de partida obligatorio.

En estas 4 unidades de producción un punto clave es el proceso de merril-crowe para la recuperación del oro presente en el licor generado durante la cianuración. En la actualidad solo implementan la etapa de clarificación y precipitado. Pensar en la instalación y adaptación de torres de vacío debería mejorar en teoría el proceso de recuperación, pues se garantizaría la disminución del oxígeno presente, una de las condiciones básicas de la precipitación. En este sentido, la optimización del uso del recurso hídrico se enfoca hacia disminuir el módulo de consumo aumentando la

recuperación de oro mientras se utiliza, hipotéticamente, la misma cantidad de agua en la etapa.

Por otra parte, algunos aspectos para tener en cuenta son: Verificar si el circuito de reducción de tamaño es el más adecuado o se requieren fases complementarias (como trituración secundaria) para mejorar la eficiencia de estas operaciones unitarias. Montar procesos de clasificación que contribuyan a garantizar el cumplimiento de las condiciones requeridas para las etapas de concentración. Igualmente, evaluar la factibilidad de operaciones de concentración complementarias que contribuyan a una mayor recuperación del oro libre grueso y también etapas de flotación que permiten obtener concentrados con mayores tenores y en consecuencia aumentar la eficiencia del proceso de cianuración. Todo esto, por supuesto, sujeto a la realidad de cada UPM y la capacidad económica que posean para ejecutar este tipo de actividades.

La Tabla 161 muestra un resumen de cada UPM en cuanto los equipos que poseen en la actualidad y algunos que pueden tomarse en cuenta como complemento para el proceso de beneficio en cada unidad de producción, discriminando cada operación unitaria.

Tabla 161. Tecnologías grupo 2 de UPM en DM Marmato

Operación Unitaria	Tecnología implementada actualmente en la UPM				Tecnologías alternativas
	UPM 17442O01	UPM 1744O204	UPM 17442O05	UPM 17442O03	
Trituración	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Rodillos
Molienda	Molino de bolas	Molino de bolas	Molino de bolas	Molino de bolas	Molino de bolas
	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Cocos Moledores
Clasificación	Tromel	Tromel	Tromel	Tromel	Tornillos Helicoidales
					Hidrociclón
Concentración	Mesas Vibratoria	Mesas Vibratoria	Mesas Vibratoria	Mesas Vibratoria	Jig
					Knelson
	Lavado en batea	Lavado en batea	Lavado en batea	Lavado en batea	Falcon
					Celdas de Flotación
Lixiviación	Cianuración	Cianuración	Cianuración	Cianuración	Cianuración
Recuperación Au	Tanque de precipitado	Tanque de precipitado	Tanque de precipitado	Tanque de precipitado	Torre de vacío
	Alberca para clarificación	Alberca para clarificación	Alberca para clarificación	Alberca para clarificación	Filtro Prensa

c. Grupo 3

En este grupo se reúnen 2 UPM del municipio de Marmato, ambas implementan las mismas operaciones unitarias que las del grupo anterior, con la diferencia que el proceso

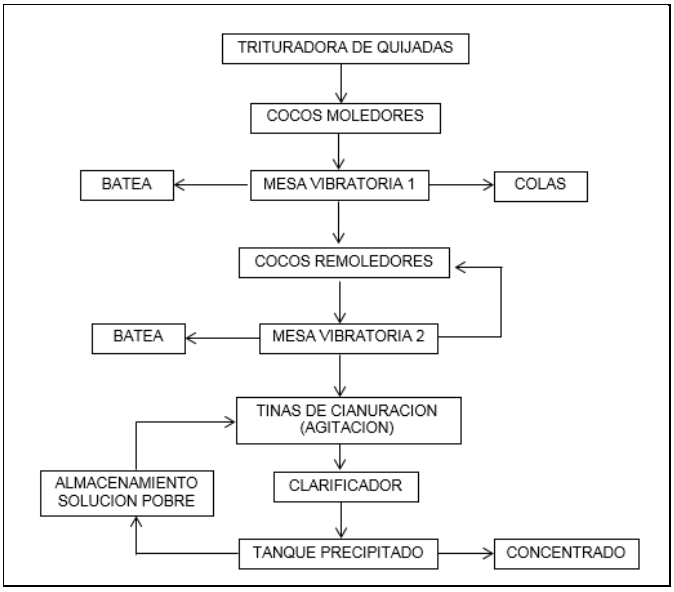
de molienda se ejecuta en cocos moledores (a baches) y no en molinos de bolas continuos. Las unidades de producción son:

La UPM 17442O09, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 8 toneladas por día de trabajo y laboran 624 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro alrededor de 900 - 1000gr.

La UPM 17442O08, se encuentra ubicada en el municipio de Marmato. Procesan alrededor de 4 toneladas por día de trabajo y laboran 720 horas al mes aproximadamente. Reportan una producción mensual de oro entre 500 – 600 gr.

La Ilustración 48 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio ejecutado en ambas unidades de producción.

Ilustración 48. Esquema de beneficio UPMs grupo 3 DM Marmato



El análisis en este conjunto es similar al del grupo 2. En primer lugar, puede pensarse en el mejoramiento de la recuperación de oro en el proceso de merril-crowe orientado a la disminución del módulo de consumo. Esto sería especialmente importante en la UPM 17442O08 ya que funciona a manera de entable (alquilan maquinaria de conminución y concentración a terceros que traen su propio mineral a beneficiar, extraer el oro libre y dejan las arenas del proceso a manera de pago) y recuperan valores mediante la lixiviación de los concentrados que se apropian.

En segunda instancia, pensar en la conversión a sistemas de molienda continua que operativamente representa ahorro de tiempo y la reducción de pérdidas de material que es común en el proceso de cargue y descargue de los cocos moledores. Sin embargo, esto solo sería posible en la UPM 17442O09, ya que en la unidad de producción 17442O08, donde constantemente llegan personas con su propio lote de mineral, la dinámica de su funcionamiento hace inviable esta posibilidad.

Finalmente, se podrían tomar en cuenta los mismos aspectos mencionados antes para las UPMs del grupo 2, aterrizando por supuesto a la realidad financiera de cada operación minera.

La

Tabla **162** muestra un resumen de las operaciones unitarias de cada unidad de producción, los equipos que utilizan y algunos que podrían tomarse en cuenta para complementar o sustituir tecnologías.

Tabla 162. Tecnologías grupo 3 de UPM en DM Marmato

Operación Unitaria	Tecnología actual en la UPM		Tecnologías alternativas
	UPM 17442O09	UPM 17442O08	
Trituración	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Quijadas	Trituradora de Rodillos
Molienda	Cocos Moledores	Cocos Moledores	Molino de bolas
Clasificación	Tromel	Tromel	Tornillos Helicoidales
			Hidrociclón
Concentración	Mesas Vibratoria	Mesas Vibratoria	Jig
			Knelson
	Lavado en batea	Lavado en batea	Falcon
			Celdas de Flotación
Lixiviación	Cianuración	Cianuración	Cianuración
Recuperación Au	Alberca de clarificación	Alberca de clarificación	Filtro Prensa
	Tanque de precipitado	Tanque de precipitado	Torre de vacío

2.2.1.5. Distrito minero de Istmina (Choco)

El distrito minero itsmina está conformado 5 municipios del departamento del choco, para este estudio se visitaron UPM en los municipios de Condoto, Novita y Rio quito, estos dos últimos no pertenecen al distrito minero, pero se incluyeron posteriormente. Para realizar el análisis de las alternativas tecnológicas en esta parte del estudio, se agruparon en 2 grupos las UPM, selección que se hizo teniendo en cuenta las operaciones con características similares en su proceso de beneficio. Esto con el fin de facilitar su análisis

y de plantear estrategias comunes, tomando en cuenta desde luego, las características particulares más relevantes de cada unidad de producción. A continuación se exponen cada uno de los grupos escogidos y también se describen técnicamente las tecnologías que se propusieron para optimizar el uso eficiente del recurso hídrico en los procesos unitarios de las UPM.

a. Grupo 1

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que las 3 son operaciones a cielo abierto que se explotan por medio de Excavadoras y buldócer, aprovechando el material suelto depositado en abanicos antiguos que han ido formando terrazas aluviales con altos contenidos de Oro y Platino.

Las UPM que componen el grupo son:

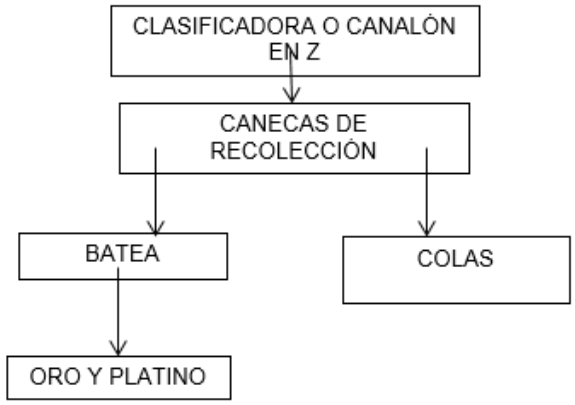
La UPM 27491O02 se encuentra localizada en el municipio de Novita, tiene una producción mensual entre 2800-3200 gramos de Au y Pt, laboran 572 horas al mes y centra su explotación en encontrar el oro depositado en los antiguos abanicos aluviales a través de métodos mineros de subsistencia.

La UPM 27491O03 al igual que la UPM 27491O02 se localizada en el municipio de novita, tiene una producción mensual de 1100-1330 gramos de Au y Pt y laboran las mismas horas que la UPM anterior y tienen el mismo sistema de extracción del mineral.

Y la UPM 27205O01 se localiza en el municipio de Condoto, tiene una producción mensual de 1690 gramos de Au y Pt, al igual que las otras dos UPM tienen el mismo sistema de explotación y laboran la misma cantidad de horas

A continuación se muestran los esquemas actuales de beneficio de las UPM del grupo 1 del distrito de Itsmina.

Ilustración 49. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 1 del distrito de Itsmina



Estas UPM tienen una particularidad en especial y es que recuperan el oro y el platino de los depósitos sin la necesidad de utilización del mercurio, por lo que las propuestas tecnológicas a plantear serán desde el punto de vista de la demanda de agua del recurso hídrico que es junto con las otras UPM del distrito las más altas del estudio del proyecto, por lo que se propone la reutilización de esta al proceso de clasificación en el canalón con el fin de disminuir la cantidad de agua fresca usada en el proceso.

También se plantea realizar estudios a las colas del canalón para analizar si aún existen concentraciones recuperables de oro y platino, para poder pensar en la instalación de un concentrador ya sea un Jig o un knelson que les permita aumentar la recuperación de oro del depósito.

Tabla 163. Tecnologías grupo 1 de UPMs en DM Itsmina

Operación Unitaria	Tecnologías implementadas actualmente			Tecnologías alternativas
	UPM 27205O02	UPM 27205O03	UPM 27205O01	
Concentración Gravimétrica	Canalón en Z	Canalón en Z	Canalón en Z	Jig Canalón en Z
Recuperación Au	Batea	Batea	Batea	Batea

b. Grupo 2

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que las 3 son operaciones aluviales en dragas de succión ubicadas en el mismo sector y se encargan de recuperar el oro disuelto en los sedimentos del rio.

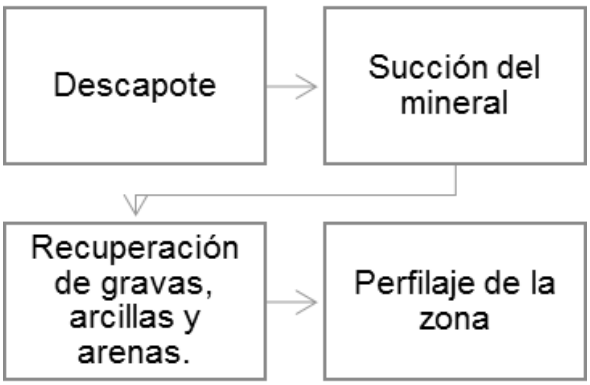
Las UPM que componen el grupo son:

La UPM Dracolbra se encuentra localizada en el municipio de Rio Quito, tiene una producción mensual entre 9000- 12000 gramos de Au, laboran 600 horas al mes y centra su explotación en encontrar el oro depositado en los sedimentos del rio en las capas más profundas.

La UPM La pelusa al igual que la UPM Dracolbra se localizada en el municipio de Rio Quito, tiene una producción mensual de oro y horas laboradas mensual igual y utilizan el mismo método de extracción del oro por medio de dragado.

Y la UPM La fórmula que funciona de la misma manera que las otras dos UPM, con diferencia que esta tiene una producción más baja entre 9000-10500 gramos de Au mensual.
A continuación se muestran los esquemas actuales de extracción de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina.

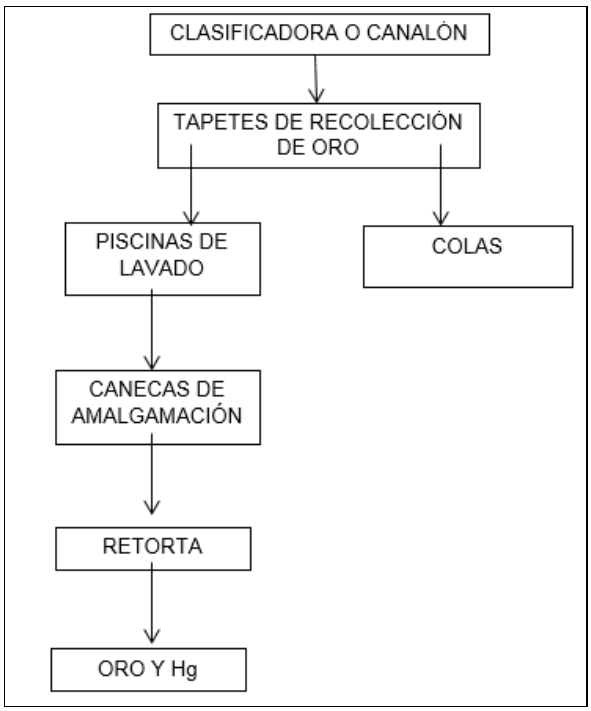
Ilustración 50. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina



Como se mencionó anteriormente este es el único grupo de UPM que dentro de su proceso de extracción del mineral tiene un consumo de agua, pero vale resaltar que esta es vertida de forma casi inmediata nuevamente al rio, ya que una vez succionado el material, este es descargado en un canalón en forma de Z que se encarga de clasificar el material y el agua sale por la parte delantera de este, por lo que este uso no es tan representativo. Otro factor importante es que la operación de estas dragas no es de forma legal, debido a que su operación se lleva a cabo en el lecho del rio, situación que se encuentra prohibida según la ley 685 de 2001 como se mencionó anteriormente, sin embargo se puede proponer un nuevo esquema de extracción con dragas de cucharas, las cuales demandan un consumo de agua menor.

A continuación se muestran el esquema actual de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina.

Ilustración 51. Esquema del proceso de beneficio de las UPM del grupo 2 del distrito de Itsmina



Aunque su forma de trabajo sea de manera ilegal, se pueden hacer algunas propuestas de mejora dentro de su proceso de beneficio, que van enfocadas más que todo a la sustitución del uso del mercurio por operaciones unitarias de concentración, se plantea que se siga realizando la clasificación en un canalón en forma de Z, pero a su vez esta se ayude de un tromel para que realice otra clasificación secundaria, seguido de esto el proceso de amalgamación se cambie por el uso de Jigs que ayudarían a recuperar las cantidades de oro libre del depósito aluvial.

Tabla 164. Tecnologías grupo 1 de UPMs en DM Itsmina

Operación Unitaria	Tecnologías implementadas actualmente			Tecnologías alternativas
	UPM 27205O06	UPM 27205O04	UPM 27205O05	
Clasificación	No implementan	No implementan	No implementan	Tornillos Helicoidales Tromel
Concentración Gravimétrica	Canalón en Z	Canalón en Z	Canalón en Z	Jig Canalón en Z
Recuperación Au	Quema de Amalgama	Quema de Amalgama	Quema de Amalgama	Batea

2.2.2. Minería de Carbón

La minería del carbón puede afectar el recurso hídrico de diversas maneras: mediante la inducción de una caída en el nivel freático del suelo causando la pérdida de agua, generando la contaminación del agua y también por los cursos de agua que alteran. (Bian, Inyang, Daniels, Otto, & Struthers, 2010)

Cuando el agua se redirige como resultado de fracturas o formación de grietas (provocadas en el subsuelo por las labores mineras) está interactúa con los diversos estratos del subsuelo con la que entra en contacto. Siendo el agua un solvente por excelencia, encuentra muchos compuestos y sedimentos en dichos estratos que al entrar en contacto con ella se disuelven, siendo transportados en las líneas de drenaje. Estos lixiviados son transportados mediante las líneas de drenaje y llegan a entornos nuevos donde pueden reaccionar con ciertos componentes y producir contaminantes. Esto se traduce en una reducción significativa de la calidad del agua. (Bian et al, 2010)

En resumen, deben enfocarse esfuerzos hacia la conservación de la integridad de los cuerpos de agua afectados en cada operación minera. Así mismo, integrar los estudios hidrogeológicos con el planeamiento y la operación minera. Los impactos ambientales sobre el agua dependen del contexto particular de cada UPM, por lo que estos deben identificarse, calificarse y cuantificarse. Buscando alternativas para prevenir, mitigar o compensar la afectación medioambiental según sea el caso.

Dentro de las operaciones vinculadas a los procesos de extracción y beneficio de carbón de las UPM visitadas en los distritos de Zipa-Samaca y Amagá se identificaron ciertas actividades que implican la demanda del recurso hídrico, estas son: el riego de vías (en minas a cielo abierto) y la humectación del carbón dispuesto en patios de acopio en algunas de las UPM. Todas estas acciones obedecen a la necesidad del proceso de explotación, el manejo del material de interés una vez sale del depósito y el mejoramiento de las características del producto para satisfacer los requerimientos del cliente. Así

mismo, otro aspecto a tomar en cuenta es el consumo doméstico, el cual es particularmente importante porque es un denominador común en toda actividad humana.

En cuanto al tema del desagüe de túneles (en las excavaciones subterráneas), este es un factor clave para la optimización del uso del recurso hídrico debido a que en la mayoría de las UPM visitadas a esta agua no se le da ningún tipo de uso dentro de las operaciones del proyecto minero.

A continuación, se aborda por separado cada uno de estas operaciones unitarias donde se involucra la demanda del recurso hídrico, haciendo una descripción de cada una de ellas y las alternativas tecnológicas que se proponen para lograr la optimización del agua en los proyectos carboníferos estudiados.

- **Riego de vías:** Esta actividad se hace con el fin controlar la emisión de partículas finas de material que se levantan por el tránsito constante de maquinaria (principalmente de transporte) sobre las vías de una operación a cielo abierto. “El polvo es hoy una de las principales amenazas para la minería. Su carácter furtivo pone en riesgo la salud de las personas y la seguridad operacional, así como la continuidad del proyecto. Sin un adecuado sistema de monitoreo y control de polvo, una gran cantidad de material particulado fino compromete la salud de los operadores e impacta negativamente en el desempeño de los equipos, afectando la productividad de la operación” (Rada J & Cruz M, 2013)[226].

  El riego de vías representa el mayor consumo de agua en las minas donde se ejecuta, por lo tanto es la actividad de mayor interés en cuanto optimizar el uso del recurso hídrico se refiere. Una reducción porcentual en el consumo ligado al riego de vías se traduce en un ahorro de miles de metros cúbicos de agua al año para operaciones pequeñas.

  El uso de agua para controlar la emisión de polvo es común en la minería nacional. Sin embargo, esta no es precisamente la sustancia ideal para dicha tarea. “La aplicación de agua como supresor de polvo es una solución de corto plazo y opera a partir de la aglomeración de partículas en la superficie. Dependiendo de la temperatura y humedad tiene una eficiencia relativa de rango acotado entre 30 minutos y 12 horas. El porcentaje de control de polvo del agua en caminos ha sido estimado en un 40%. Su capacidad de controlar polvo decrece desde 100% a 0% en muy corto tiempo, especialmente si el clima es caluroso y seco. […] Por otra parte, no

[226] Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). *Prácticas para suprimir el polvo.* Minería Chilena.

evita la elevación de partículas más finas que se generan, ya que el agua no encapsula el camino. A su vez, el sobrerriego facilita la formación de barro, lo que dificulta la limpieza y mantenciones de equipos, genera erosión acelerada y determina mayores cortes en neumáticos, ya que afila cantos de roca" (Rada J & Cruz M, 2013)[227].

En regiones mineras donde la disponibilidad del recurso hídrico es limitada, como zonas desérticas por ejemplo, es usual el uso de supresores de polvo alternativos. En la Tabla 165 se presenta un resumen de los supresores documentados, la eficacia del mismo y los efectos que genera sobre el entorno minero.

Tabla 165. Eficacia, impacto ambiental y efecto funcional de supresores de polvo.[228].

Tipo de Supresor	**Eficacia en control de polvo e impacto ambiental**	Efecto funcional sobre operación
Agua	50% (2 l/m2 mes) Lixivia componentes del suelo. Zonas áridas de alta salinidad cambian pH de napas subterráneas	Sobrerriego daña neumáticos. Permite circulación inmediata. Genera barro.
Cloruro de calcio	**Cloruro de calcio 55%**	Corrosión de vehículos, Infraestructura vial y hormigón. Superficies resbaladizas cuando se humedecen (Higroscópicos). Seca gomas, caucho y revestimientos en equipos. No es complementario con riego de agua para controlar polvo.
Cloruro de magnesio	Cloruro de magnesio 77% Contaminación de napas subterráneas por cloruro arrastrado por el agua a través del suelo. Altamente solubles. Modifican pH y salinidad del medio acuoso. Alta concentración salina puede ser tóxica para las plantas y seres vivos. Concentración por sobre los 400 ppm es tóxica para ciertas especies de peces, y sobre los 1.830 mg/l es mortal para microorganismos y crustáceos.	
No bituminosos (Lignosulfonato)	63%. 7.300 mg/l afecta peces y 2.500 mg/l puede afectar colon en roedores. Produce ulceración y pérdida de peso en animales pequeños. Reducción de la actividad biológica en el agua, debido a la contaminación por lignosulfonatos.	Con baja humedad y alta temperatura es más efectivo que cloruros. Mancha equipos y vehículos durante su aplicación.
No bituminosos (Aceites vegetales y melazas)	84%. Reducción de la actividad biológica producto de la decoloración del agua.	Mayoritariamente son higroscópicos. Se lavan con el agua y no impermeabilizan el camino.

[227] Ibíd.
[228] Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). *Prácticas para suprimir el polvo.* Minería Chilena.

Orgánicos bituminosos (Emulsión asfáltica)	95% Gran capacidad impermeabilizante	Considerado supresor de larga duración. Mancha vehículos durante aplicación. Alta resistencia al rodado y tensión de carga. Reduce ciclos de riego y permite reparación del camino sobre riego.
Polímeros sintéticos	40-50%. Incrementa la fuerza de tracción del suelo. Fuerza depende de un tiempo de curado.	No permite circulación inmediata.
Emulsión con polímero (promedio)	Inicial 96%, 3 meses 84%, Después de 11 meses 67%	No soporta alto tonelaje.
Estabilizador de suelo biocatalítico	Inicial 33%, después de 3 meses 0% La vegetación no se restablece en áreas tratadas.	Solo compacta. No permite reparación ni reaplicación. Se debe rehacer una vez saturado o combinar con otro supresor.

Cada tipo de sustancia tiene una eficiencia propia y genera sobre el escenario de la operación unos efectos diversos. La selección de un compuesto en particular dependerá también de las condiciones de cada UPM para la adquisición y manejo logístico del mismo.

- **Humectación de pilas de carbón:** "[…] Es un método efectivo para evitar la emisión de partículas por la acción del viento, Sin embargo la humectación genera lixiviados, erosión y arrastre de partículas en las pilas, por lo que se requiere que la humectación sea calculada para mantener una humedad constante sin excesos de agua" (UPME)[229]. Así mismo, tiene como objetivo prevenir la formación de incendios a partir del auto-calentamiento y combustión espontánea del carbón.

  En la operación de humectación interactúan varios fenómenos cuya dinámica es compleja. Sin embargo, se da una breve explicación de cada uno:

  Mojabilidad: Es la facilidad con que un sólido puede estar en contacto con un fluido en términos de área superficial, en este caso particular hablamos de agua. La mojabilidad refleja como entran en contacto el fluido y sólido involucrados, si el primero recubre totalmente la superficie del segundo o si por el contrario forma gotas minimizando su contacto (Schlumberger , 2007)[230].

  Auto-calentamiento: "Este término se refiere al aumento de temperatura en un medio debido a la generación de calor interno proveniente de un proceso químico o físico

[229]UPME. (s.f.). *Manejo Ambiental Fase de Operación.* Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm
[230]Schlumberger . (2007). Fundamentos de Mojabilidad. *Oilfield Review*.

que toma lugar dentro del mismo. En las pilas de carbón los principales procesos que ocurren simultáneamente son la transferencia de calor (internamente generado) y humedad (evaporación) al ambiente" (Hooman & Maas, 2014)[231].

Combustión Espontánea: "En pilas de carbón hace alusión al proceso físico y químico de fuga térmica. El cual es iniciado como auto-calentamiento, causado por una reacción de oxidación exotérmica a baja temperatura. Si el calor generado por la reacción no se disipa adecuadamente en el ambiente circundante la temperatura seguirá aumentando hasta entrar a un rango donde la pila alcanza la fuga térmica y entonces sufre ignición espontánea" (Hong-qing, Ze-yang, Bo, & Yu-ze, 2013)[232]. El proceso descrito es el que interesa prevenir puesto que representa una condición insegura para las operaciones y además la pérdida de las condiciones de calidad del producto a despachar.

La humectación del carbón tiene como objetivo aumentar el contenido de humedad en la pila que se relaciona directamente con la tasa de evaporación y con la temperatura requerida para el secado (Hong-qing et al, 2013)[233].

Entre algunas de las variables que influyen en el proceso de combustión dentro de una pila encontramos: la velocidad del viento, la concentración de oxígeno, la altura de la pila, la porosidad del carbón y el ángulo de reposo de la pila (Hong-qing et al, 2013). Algunos parámetros tienen mayor relevancia que otros, y por supuesto, otros salen del control humano pues están ligados a las condiciones naturales del recurso mineral y de la zona geográfica donde se localiza la UPM. En este documento se hace énfasis en el efecto de la velocidad del viento, la altura y ángulo de la pila construida.

La velocidad del viento ciertamente no es una condición sobre la que pueda ejercerse control, pero es posible mitigar su efecto sobre el material acopiado. La velocidad del viento tiene una relación directa con la tasa promedio de la reacción de oxidación (mencionada antes): al disminuir la primera, la segunda se retrasa (Hong-qing et al, 2013). En este sentido, "[…] es necesario aislar las pilas de la acción viento, construyendo barreras artificiales o naturales constituidos por franjas de vegetación" (UPME)[234].

[231]Hooman, K., & Maas, U. (2014). Theoretical analysis of coal stockpile self-heating. *Fire Safety Journal*(67), 107-112.
[232]Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26*, 236-244.
[233] Ibíd.
[234] UPME. (s.f.). *Manejo Ambiental Fase de Operación.* Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm

Por otra parte, la altura de la pila influye en la temperatura máxima alcanzada (así como la rapidez con que esta se alcanza). En el estudio llevado a cabo por (Hong-qing et al, 2013)[235] los resultados arrojan que reducir de 9 a 5 metros la altura de la pila reduce la tasa con que aumenta la temperatura interna de esta, de igual forma, el efecto se magnifica con la reducción de la altura por debajo de 5 metros. Este mismo estudio valora la influencia del ángulo de reposo de la pila, pero concluye que la influencia del mismo sobre el fenómeno de auto-calentamiento y combustión no es tan relevante como los demás factores tomados en cuenta.

El control de la combustión espontánea en pilas de carbón debe entonces complementarse con la implementación de medidas auxiliares a la humectación del material, como las descritas brevemente con anterioridad, por ejemplo.
Tambien se propone implementar tecnologias para esta humectación como los son los aspersores de agua, en este sistema el agua para que se disperse en gotas de distinto tamaño debe salir a presión por orificios y boquillas (aspersores).[236]

- **Lavado de carbón:** “Disminución del porcentaje de cenizas e impurezas para minimizar los impactos ambientales negativos asociados con la combustión del carbón. El proceso puede ser en húmedo, según tamaño y forma, o en seco, según las diferencias en densidad y fricción” (UPME, 2005)[237]

  La operación de lavado no se observa en ninguna de las UPM visitadas pues las condiciones naturales de los mantos, junto con su mezcla, permiten satisfacer los requerimientos de calidad de los clientes. Sin embargo, esta debe tomarse en cuenta pues se hace una afectación directa al recurso hídrico que sale del proceso con un aumento del contenido de material particulado, cenizas (del carbón) y otros contaminantes que estén asociados.

  Para el mejor aprovechamiento del agua utilizada en un proceso de lavado, se recomienda su captación y almacenamiento una vez sale del mismo. Esto con el fin darle el manejo adecuado para recuperar su calidad y eventualmente ser reingresada al sistema generando un ciclo de recirculación. Debe medirse el cambio en las condiciones de calidad del recurso hídrico para seleccionar los tratamientos

[235] Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Op. Cit.
[236] Riego por aspersión. Recuperado el 05 de 11 de 2015 de: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm
[237] UPME. (2005). *La cadena del carbón* . Bogotá.

pertinentes y así mismo conocer las condiciones en que se recibe y eventualmente se vierte el agua utilizada.

En cuanto al tema del agua que sale de la mina, esta se hace mediante la operación unitaria de desagüe se hace dentro del proceso de extracción. Si bien es considerada una actividad auxiliar, su ejecución es trascendental para evitar inundaciones en los túneles, y en consecuencia, prevenir accidentes y bloqueo de vías de acceso y transporte. Depende de la ubicación del depósito, la disposición de los mantos y de cómo se construyan los túneles para su explotación. El desagüe se hace utilizando bombas de achique o mediante la implementación de un sistema de drenaje que aproveche la gravedad. En la mayoría de casos se combinan ambos métodos.

La manera de ejecutar eficientemente esta actividad es tomándola en cuenta dentro del planeamiento minero, este "[…] tiene como finalidad la obtención de la mejor proyección del uso de los recursos minerales disponibles, y además es una actividad capaz de ajustarse a eventuales cambios en el trascurrir del tiempo" (Franco Sepúlveda, Branch Bedoya, & Jaramillo Álvarez, 2012)[238]. Dicho ejercicio debe hacerse basado en un conocimiento adecuado del depósito, la geología local y particularmente las condiciones hidrológicas de la zona donde está establecida la UPM. Esto implica saber además cómo se drenaran las aguas fuera de la excavación, el tamaño aproximado del caudal a extraer y qué uso se le dará al fluido una vez esté fuera de la excavación.

Posterior a un tratamiento, esta agua de mina se puede aprovechar para otras actividades complementarias que se encuentren dentro del proyecto minero ya sea el riego de matas, lavado de equipos y maquinaria, entre otras.

A continuación se va a realizar un análisis a cada una de las UPM de los distritos que generen una demanda del recurso hídrico dentro de su proceso de extracción y beneficio del carbón.

2.2.2.1. Distrito minero de Zipa - Samaca

El distrito minero está compuesto por municipios pertenecientes a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en el primero se visitó 9 UPM que se encuentran ubicadas en

[238] Franco Sepúlveda, G., Branch Bedoya, J. W., & Jaramillo Álvarez, P. (julio de 2012). PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA. *Boletín Ciencias de la Tierra*(31), 107 - 113.

los municipios de Guachetá, Lenguazaque y Cucunubá y en Boyacá se visitaron en los municipios de Ráquira y Samacá.

Para facilidad de análisis se agrupan las minas del distrito en dos grupos. A continuación se realiza un pequeño antecedente de las UPM visitas en el distrito.

a. Grupo 1

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que tienen una demanda de agua diferente a la de uso doméstico. Las UPM del grupo son:

La UPM 25317C09 tiene producción mensual de 12 mil toneladas de carbón coquizable, se encuentra ubicada en el municipio de Guachetá y explota 10 mantos de carbón a través de dos métodos subterráneos de explotación el 90% a tajo largo y el 10% restante a tajo corto, en sus operaciones unitarias de extracción como arranque, cargue, transporte, ventilación y sostenimiento no se ve involucrado la demanda del recurso hídrico, por su parte la operación de desagüe de los túneles se encargue de sacar a superficie todas estas aguas de infiltración a través del uso de bombas para luego realizarle una sedimentación en unos tanques y posteriormente ser vertida en la quebrada. En esta UPM se realiza una humectación a las pilas de carbón con mangueras en el patio de acopio.

La UPM 25224C03, tiene una producción de 1500 toneladas de carbón coquizable, está localizada en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, explotan cuatro mantos de carbón mediante el método subterráneo de ensanche de tambores. En este proceso de extracción de mineral mediante el uso de mangueras se realiza una humectación a las pilas de carbón, para esta operación se utiliza el agua proveniente de la mina.

La UPM 25317C07 tiene una producción mensual de 2000 toneladas de carbón coquizable, está localizada en la vereda Peñas del municipio de Guachetá, explota los mantos con el método de tajo largo en avance, esta UPM solo utiliza agua para la humectación del patio de tolvas y bocamina, con el fin de reducir la cantidad de material particulado y para ello usa el agua que sale de la mina.

A continuación en la Tabla 166 se observan las tecnologías que se proponen para la optimización del recurso hídrico en las UPM del distrito minero cuyos procesos unitarios demanden del mismo.

Tabla 166. Tecnologías propuestas para la optimización del recurso hídrico en el distrito Zipa-Samacá

TECNOLOGÍAS		UPM		
		25317C09	25317C07	25224C03
Supresores de polvo (Riego de vías)	Polímeros sintéticos		X	
	Estabilizantes químicos (agentes humificadores, sales higroscópicas y agentes creadores de costra superficial)		X	
	Agentes impermeabilizantes		X	
	Niebla Seca		X	
	Orgánicos bituminosos (Emulsión asfáltica)		X	
	Agentes espumantes		X	
Humectación Carbón	Lanzadores de agua tipo Cañón	X		X
	Sistemas de aspersores	X		X

Como se describió anteriormente solo las UPM 25317C09, 25224C03 y 25317C07 tienen una demanda de agua para una de sus operaciones unitarias, 25317C09 y 25224C03 en su proceso de humectación del carbón con el fin de prevenir la combustión espontánea del carbón para lo que usan un sistema de mangueras y tuberías, para esto se proponen dos tecnologías alternativas que ayudarían a controlar el uso del agua como lo son los sistemas de aspersores.

Por su parte la UPM El 25317C07 realiza una humectación al patio de tolvas con el fin de disminuir la cantidad de material particulado que se genera, para esto se proponen alternativas que ayuden a optimizar el consumo de agua durante esta operación unitaria, dentro de las tecnologías propuestas están los polímeros sintéticos, algunos estabilizantes químicos, agentes impermeabilizantes y espumantes, los cuales fueron descritos anteriormente y que ayudarían a disminuir el uso de agua.

b. Grupo 2

Las UPM agrupadas en este conjunto tienen en común que dentro de sus operaciones unitarias de extracción y beneficio no hay ninguna demanda de agua. Las UPM del grupo son:

La UPM 25317C08 tiene una producción mensual de 2300 toneladas de carbón coquizable, está ubicada en el municipio de Guachetá, explota seis mantos de carbón con los mismos dos métodos de explotación que la UPM 25317C09, pero a diferencia de esta ninguna de sus operaciones unitarias demanda agua para su ejecución.

La UPM 25317C06 tiene una producción mensual de 200 toneladas de carbón coquizable, se ubica en la vereda Peñas del municipio de Guachetá, explota dos mantos mediante el método subterráneo de tajo por avance. En este proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

La UPM 25407C04, tiene una producción mensual de 1500 toneladas, se encuentra ubicada en la vereda Ramada Flores en el municipio de Lenguazaque, explota cinco mantos utilizando el método subterráneo de ensanches de tambores, al igual que la UPM 25317C06 en su proceso de extracción de mineral ninguna de las tecnologías utilizadas para las operaciones unitarias demanda de agua.

La UPM 25407C05, tiene una producción mensual de 500 t de carbón térmico, se encuentra ubicada en la vereda Ramada Alta en el municipio de Lenguazaque, explota cuatro mantos utilizando el mismo método de ensanche de tambores utilizado por la UM 25407C04 y al igual que esta ninguna de las tecnologías utilizadas para las operaciones unitarias demandan agua.

La UPM 25224C02, tiene una producción mensual de 800 toneladas de carbón térmico, se ubica en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, explotan tres mantos de carbón utilizando el mismo método de ensanche de tambores que la UPM 25224C03, pero a diferencia de esta, ninguna de las tecnologías utilizadas en las operaciones unitarias demanda agua.

La UPM 25224C01 tiene una producción de 4000 toneladas, está localizada en la vereda Aposentos en el municipio de Cucunubá, explota seis mantos con el mismo método de explotación que la UPM 25224C02y al igual que ella ninguna de las tecnologías usadas en las operaciones unitarias demanda agua.

La UPM 15600C01, tiene una producción mensual de 2000 toneladas de carbón coquizable, ubicada en la vereda Firitas del municipio de Ráquira, explota tres mantos de carbón mediante el método artesanal de tajo abierto, ninguno de las tecnologías utilizadas en los procesos unitarios llevados a cabo demanda agua.

Y la UPM 15646C02, que tiene una producción de 600 toneladas de carbón coquizable, también explota tres mantos de carbón utilizando el mismo método de explotación que la UPM 15600C01 y comparten además la particularidad que ninguna de sus tecnologías demanda agua.

Para las UPM de este grupo, las cuales no les dan utilización a estas aguas provenientes de la mina, se les propone que se les dé un uso, ya sea domestico para el riego de plantas, jardines, para lavar baños, áreas del campamento de la mina o cualquier otro uso que resulte dentro de las actividades del proyecto minero.

2.2.2.2. Distrito minero de Amaga

En el distrito minero amaga perteneciente al departamento de Antioquia se visitaron 4 UPM en el municipio de titiribí. La UPM 05809C01 que tiene producción mensual de 1500-2000 toneladas de carbón térmico y explota el carbón de 2 mantos (la grande y la solapuda) a través del método subterráneo de cámaras y pilares, en sus operaciones unitarias de extracción como arranque, cargue, transporte, ventilación y sostenimiento no se ve involucrado la demanda del recurso hídrico, por su parte la operación de desagüe de los túneles se encargue de sacar a superficie todas estas aguas de infiltración a través del uso de bombas para luego realizarle una sedimentación en unos tanques y posteriormente ser vertida en la quebrada. La operación unitaria de beneficio Trituración tampoco utiliza el recurso hídrico.

La segunda UPM 05809C02, tiene una producción mensual de 1200 toneladas de carbón térmico, y al igual que la UPM 05809C01 explotan el carbón de los mismos 2 mantos implementando el mismo método de explotación, y en sus operaciones unitarias de extracción y beneficio tampoco demandan del recurso hídrico.

La tercera UPM 05809C03, tiene una producción mensual de 2500 toneladas de carbón térmico, y al igual que las dos UPM mencionadas anteriores explotan el carbón de los mismos mantos pero con una pequeña variación en el método de explotación, en esta UPM se implementa el ensanche de tambores, también como las otras 2 UPM (05809C01 y 05809C02) no consume agua en sus operaciones unitarias, pero a diferencia de ellas, al agua que sale de la bocamina si tiene un uso ya que una parte de esta se utiliza para el riego de las vías de la Operación a cielo abierto.

La ultima UPM visitada en el distrito fue la 05809C04, esta tiene una producción mensual de 4500 toneladas de carbón térmico, explotan los mismos dos mantos de carbón que las anteriores UPM (la grande y la solapuda) pero con la diferencia que esta la hace a través de minería a cielo abierto debido a que por eventos geológicos (fallas) estos mantos se desplazaron y afloraron a superficie, permitiendo aprovecharlos así a través de minería de superficie, por lo que se implementa así el método de explotación de bancos con terrazas descendentes. En este proceso de extracción de mineral se consume agua durante la operación auxiliar del riego de vías, esta se realiza con el fin de disminuir la cantidad de polvo generado por la explotación minera, esta agua proviene de la operación subterránea, por su parte el agua de escorrentía del pit y los botaderos se conduce por unas cunetas y canales perimetrales y sale a un sedimentador a través de una tubería.
De las 4 UPM visitadas podemos observar que solo una tiene una demanda de agua dentro de su proceso minero de extracción y beneficio y en busca de optimizar el uso del recurso hídrico se propondrán tecnologías que nos ayuden a lograr este objetivo.

A continuación en la Tabla 167 se observan las tecnologías que se proponen para la optimización del recurso hídrico en las UPM del distrito minero.

Tabla 167. Tecnologías propuestas para la optimización del recurso hídrico en el distrito Amaga

TECNOLOGÍAS		UPM 05809C04
Supresores de polvo (Riego de vías)	Polímeros sintéticos	X
	Estabilizantes químicos (agentes humificadores, sales higroscópicas y agentes creadores de costra superficial)	X
	Agentes impermeabilizantes	X
	Niebla Seca	X
	Orgánicos bituminosos (Emulsión asfáltica)	X
	Agentes espumantes	X

Como se mencionó anteriormente solo la UPM 05809C04 tiene una demanda de agua dentro de su proceso de extracción que es el riego de las vías dentro de la mina, por tal motivo solo a esta UPM se le propusieron alternativas para optimizar su consumo de agua durante esta operación unitaria, dentro de las tecnologías propuestas están los polímeros sintéticos, algunos estabilizantes químicos, agentes impermeabilizantes y espumantes, los cuales fueron descritos anteriormente y que ayudarían a la optimización del recurso hídrico.

2.2.2.3. Distrito minero de La Jagua

El Distrito Minero de la Jagua se compone por los municipios de Agustín Codazzi, La Jagua de Ibirico, El Paso, Curumaní, Chiriguaná y Becerril. Fueron visitadas 2 unidades de producción pertenecientes a Drummond Company. Estas fueron la UPM Pribbenow y la UPM El Descanso, cuyas áreas de influencia están sobre los municipios de Chiriguaná y Codazzi.

Ambas unidades de producción explotan carbón a cielo abierto. Siendo la UPM Pribbenow la de mayor producción. Aunque no se conocen detalles técnicos de la operación, durante la visita a los proyectos se identifican algunos aspectos de importancia.

La demanda de agua se divide en 4 actividades: riego de vías, lavado de carbón (esto solo en la Mina Pribbenow), lavado de maquinaria amarilla y vehículos de transporte y el consumo humano.

De todas las actividades, la que representa mayor gasto es el riego de vías. Frente a esto se propone el análisis de supresores de polvo alternativos al agua como estrategia para reducir la demanda de agua ligada a la operación de las unidades de producción, los cuales fueron descritos con anterioridad.

3. MANEJO DE VERTIMIENTOS

La industria minera es vista como una de las principales responsables de la degradación de las fuentes hídricas, suelo y aire. Esto se debe especialmente, a que las personas que manejan los proyectos mineros aun no tienen conciencia de los problemas ambientales que pueden ocasionar los tipos de vertimientos que se generan en la minería y el daño irreversible que se puede causar a los cuerpos de agua que las reciben.

Dentro de los procesos mineros se utilizan insumos que generan una gran cantidad y variedad de sustancias contaminantes. Actualmente existen muchas alternativas en la búsqueda de soluciones para los problemas ambientales que se originan dentro de los proyectos mineros.

Dentro de la minería carbonífera colombiana, las principales sustancias contaminantes que se generan como subproductos de los procesos de extracción que están asociados a sustancias derivadas de los hidrocarburos, dentro de los cuales se incluyen combustibles, grasas, aceites, explosivos (Anfo, indugel permisible y plus, pólvora blanca, etc.), polvo de carbón, entre otros.

Por su parte la minería aurífera, genera un mayor impacto asociado al uso de sustancias contaminantes, dado que además de todas las mencionadas anteriormente exceptuando el polvo de carbón, se utilizan elementos y compuestos químicos como mercurio, cianuro, aceite terpénico, ácido nítrico, acetato de plomo, entre otras

Por lo tanto, el objetivo de este ítem es proponerle estrategias cada uno de las Unidades de producción minera visita, en primer para disminuir la generación de sustancias contaminantes y mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua.

3.1. ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA GENERACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS

Estas estrategias están encaminadas a evitar la generación de grandes cantidades de vertimientos que se producen en la actividad minera y básicamente están orientadas para trabajar en tres ejes, que se aplican para todas las minas visitadas, de la siguiente manera:

3.1.1. Capacitación y asistencia técnica a los mineros en el uso adecuado de las sustancias contaminantes generadas durante el proceso de extracción y beneficio de los metales preciosos y carbón.

El uso de sustancias contaminantes en la minería de oro, puede generar impactos negativos por el uso inadecuado de agentes químicos y combustibles fósiles (o derivados) para la extracción de este metal. Sin embargo en las labores extractivas de carbón las sustancias contaminantes obedecen aquellas derivadas de hidrocarburos, tales como combustibles, grasas, aceites y lubricantes.

De acuerdo a las características de contaminación de estas sustancias al entrar en contacto con el agua, suelo u otro cuerpo receptor, es necesario plantear métodos y/o estrategias encaminadas a minimizar la exposición o contacto con el agua u otro receptor con este tipo de sustancias. Lo anterior se logra realizando capacitaciones técnicas a los operarios que manipulen este tipo de sustancias en las UPM, las cuales estarían encaminadas a la definición de buenas prácticas en el uso (seguro) de este tipo de sustancias contaminantes.

Las recomendaciones generales para las UPM para el uso de las sustancias contaminantes son:

- El primer paso, es realizar un diagnóstico actual en cada UPM y replantear la forma cómo se realizan los procesos y operaciones que involucren el uso de estas sustancias, con el objetivo general de diseñar propuestas para minimizar el contacto con las sustancias contaminantes.

- El almacenamiento de las sustancias contaminantes, es un proceso que ayuda al aislamiento para evitar el contacto directo con el agua, suelo u otro cuerpo receptor. La instalación de barreras que impidan el derrame hacia el exterior (aplicable para sustancias liquidas) facilita la respuesta a la contingencia, diseñando indicadores que reflejen la eficiencia o deficiencia de las practicas implementadas.

- La dosificación en el uso de sustancias contaminantes ayuda en primera instancia a no utilizar más de lo requerido, al mismo tiempo que evita que se genere en los desechos concentraciones residuales de estos contaminantes haciendo más fácil su remoción del agua a ser vertida, ello va a depender de la solubilidad de la sustancia.

- Capacitar al personal en buenas prácticas en el manejo de sustancias peligrosas, con el objetivo de evitar la generación de aguas residuales industriales, y que pueden

presentar elementos solubles como materias grasas, flotantes, hidrocarburos alifáticos, alquitranes y otros[239].

- Diseñar e implementar protocolos para el correcto manejo de sustancias peligrosas en el almacenamiento, movilización interna y uso de la sustancia, al igual planes de emergencia y contingencia para saber actuar en caso que se presente una eventual contingencia.

- Solicitar a la Autoridad Ambiental competente capacitación en el manejo adecuado de este tipo de sustancias y/o reemplazarlas por aquellas que generen menos subproductos contaminantes.

- Implementar cambios tecnológicos en la maquinaria actual por aquellos que consuman o requieran menos subproductos de los hidrocarburos y/o generen menores sustancias contaminantes, para evitar la concentración de grasas o aceites en las aguas vertidas.

3.1.2. Guiar y orientar a los mineros para lograr la tecnificación de los procesos mineros llevados a cabo en las UPM visitadas que permitan la reducción de las sustancias contaminantes.

Algunas estrategias para guiar y orientar a los mineros a lograr la tecnificación de los procesos llevados a cabo en las unidades de producción minera (UPM) visitadas que permitan la reducción de las sustancias contaminantes son:

- Como primera medida, se recomienda que cada UPM realice una caracterización de los depósitos minerales que se encuentran dentro del proyecto minero, realizando estudio minerometalurgicos que permita conocer todas las variables criticas de este, y sirva como punto de partida para implementar las tecnologías necesarias en cada una de ellas.

- Elaborar planes y programas de financiamiento para la implementación de tecnologías limpias que reduzcan y/o eliminen el uso de sustancias contaminantes.
- Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de plantas de beneficio piloto, con tecnologías limpias, donde se muestre al sector minero la eficiencia de los

[239] Guía Minero Ambiental de Minería Subterránea y Patios de Acopio de Carbón. (2004). Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (p. 106)

equipos para generar así una mayor confiabilidad y que impulse su inversión y utilización dentro de los procesos.

- Disminuir el uso del mercurio, sustancia ampliamente utilizada en la recuperación de oro en las plantas de beneficio, sustituyendo el proceso de amalgamación en las operaciones unitarias por procesos de concentración mineral, todo esto teniendo en cuenta que es una de las más peligrosas y la que requiere mayor atención debido a lo contemplado en la ley 1658 de 2013 donde se plantea la reducción y eliminación del uso del mercurio en la minería artesanal y de pequeña escala.

- Elaborar documentos o guías publicables dirigidas al sector minero donde se muestre las adecuadas relaciones estequiometrica para el uso de combustibles, grasas, aceites y explosivos dentro de los procesos con el fin de optimizar su demanda.

- Brindar asistencia técnica sobre el uso, dosificación y manejo final del cianuro, debido a que este es considerado el lixiviante universal que permite separar el oro asociado a los sulfuros en las plantas de beneficio, por lo que su eliminación por completo resulta inviable.

- Desarrollar talleres o guías de orientación donde se enseñe a los mineros medidas de control para el manejo del polvo de carbón.

3.1.3. Diseñar e implementar planes de acción basados en la normatividad ambiental y minera, que le permita al ministerio entregar tecnologías dirigidas a la minería de subsistencia.

En la minería aurífera se utilizan sustancias potencialmente contaminantes como el mercurio y cianuro dentro de su proceso de beneficio mineral. Particularmente, en la pequeña minería y minería artesanal el uso de tecnologías obsoletas o la implementación inadecuada de estas, puede promover la emisión de sustancias contaminantes al medio. En base a esto, y en aras de mejorar la calidad ambiental, las autoridades mineras y ambientales han generado planes de acción con base en la normatividad existente.

La Decisión 774 del 2012 de la Comunidad Andina de Naciones, a la cual se encuentra asociado Colombia, indica que los Países de la Comunidad deberán desarrollar “acciones de cooperación que contribuyan a la formalización minera, fomenten la responsabilidad social y ambiental y promuevan el uso de métodos y tecnologías eficientes para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental”. Esta agenda involucra acciones y responsabilidades que se establecen acorde a la temática de la promoción de buenas prácticas y tecnologías que contribuyan a lograr una mayor

eficiencia para la minería de oro, en particular en relación con el uso de mercurio y cianuro y la promoción de investigación tecnológica en el sector minero-ambiental[240].

En cuanto al tema de la normatividad minera, existen un amplio margen de leyes minero-ambientales que tienen como fin la implementación de tecnologías limpias dentro de las operaciones unitarias de los proyectos mineros para disminuir el uso de sustancias contaminantes y la erradicación de algunas en especial como lo es el mercurio, entre estos se tienen los artículos 2° y 7 de la ley 1658 de 2013:

"Artículo 2°: Acuerdos y convenios de cooperación internacional. Se adoptará una política nacional en materia de salud, seguridad y medio ambiente para la reducción y eliminación del uso del mercurio en las diferentes actividades industriales del país donde se utilice dicha sustancia; para lo cual se podrán suscribir convenios, desarrollar programas y ejecutar proyectos de cooperación internacional con el fin de aprovechar la experiencia, la asesoría, la capacitación, la tecnología y los recursos humanos, financieros y técnicos de dichos organismos, para promover la reducción y eliminación del uso del mercurio".[241]

"Artículo 7°. Alternativas limpias. Colciencias fomentará la realización de investigaciones de tecnologías limpias para la reducción y eliminación del mercurio, el desarrollo y aplicación de las mismas. 2 Los Ministerios de Minas y Energía; Comercio, Industria y Turismo; Educación y el SENA promoverán y desarrollarán en el marco de sus competencias la realización de programas de formación, capacitación, fortalecimiento empresarial y asistencia técnica, para la inserción de las tecnologías limpias en los procesos de beneficio de oro y demás procesos industriales y productivos asociados, que requieren de la utilización del mercurio, pudiendo emplear como insumo los resultados de las investigaciones promovidas por Colciencias. Para tal efecto se podrán realizar convenios con el sector privado, las instituciones de educación superior y las empresas de servicios públicos, para que desarrollen estos programas que se destinarán a la población objeto de esta ley, incluyendo la información respecto de los riesgos y afectaciones a la salud humana y al medio ambiente por la exposición al mercurio."[242]

[240] Ministerio de Minas y Energía. POLÍTICA NACIONAL PARA LA FORMALIZACIÓN DE LA MINERÍA EN COLOMBIA. 2014.
[241] Congreso Colombiano, "ley 1658 de 2013, por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones". Bogotá. 2013
[242] Congreso Colombiano, "ley 1658 de 2013, por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones". Bogotá. 2013

En los artículos anteriores se plantean proyectos para la implementación y financiamiento de tecnologías limpias que ayuden a la erradicación por completo del mercurio de los procesos mineros, pero analizando un poco, antes de la ejecución de dichos proyectos, se debería tener en cuenta que aunque en la Ley 685 de 2001, se dieron preferencias para la financiación en los programas de crédito y mediante programas de fomento se les provisionaría de materiales, equipos e implementos para las actividades minera, participación en convenios, proyectos de investigación, transferencia de tecnología y desarrollo de valor agregado entre otros, se requiere que constantemente se realicen análisis detallados sobre la capacidad institucional real y disponible, en materia de recursos económicos, de personal y de operatividad para lograr la aplicación efectiva de estos instrumentos[243].

Actualmente, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible ha emitido el Plan Único Nacional de Mercurio que busca eliminar gradual y definitivamente el uso de mercurio en el sector minero e industrial de Colombia, tiene como meta central "reducir y eliminar progresivamente el uso del mercurio en todo el territorio nacional, en la minería a julio de 2018 y todos los procesos industriales y productivos a julio de 2023." Este plan se sustenta en la ley 1658 del 15 de julio de 2013 y contempla dentro de sus planes de acción temáticas sobre transferencias tecnológicas, utilización de tecnologías limpias y capacitaciones.

Enfatizando sobre el tema de financiación, se puede pensar en la asignación de recursos a través de los referidos en la Ley 1530 de 2012, citada a continuación: "ARTÍCULO 151. RECURSOS ACUMULADOS. Los recursos acumulados en los Fondos de Fomento al Carbón y Metales Preciosos, existentes a la entrada en vigencia de la presente ley, serán destinados preferentemente al desarrollo de proyectos que permitan mejorar la productividad y seguridad minera en la pequeña y mediana minería. El Ministerio de Minas y Energía o la entidad que éste designe, establecerá los parámetros que se tendrán en cuenta para la destinación de estos recursos."[244] Esto se haría dándole prioridad especial a proyectos enfocados a la conversión a tecnologías limpias y a la reducción de generación de sustancias contaminantes.

Por otra parte, la Ley 99 de 1993 plantea en sus artículos 87 y 88:
"ARTÍCULO 87.- Creación, Naturaleza y Jurisdicción. Créase el Fondo Nacional Ambiental, en adelante FONAM, como un sistema especial de manejo de cuentas del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE […]

[243] CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA (2012). Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2012-2013
[244] Congreso de la República. Ley 1530 de 2012.

ARTÍCULO 88.- Objetivos. El FONAM será un instrumento financiero de apoyo a la ejecución de las políticas ambiental y de manejo de los recursos naturales renovables […]

El FONAM financiará la ejecución de actividades, estudios, investigaciones, planes, programas y proyectos, de utilidad pública e interés social, encaminados al fortalecimiento de la gestión ambiental, a la preservación, conservación, protección, mejoramiento y recuperación del medio ambiente y al manejo adecuado de los recursos naturales renovables y de desarrollo sostenible." [245]

Debería evaluarse la pertinencia y viabilidad de que proyectos, que aunque enmarcados en el sector minero, estén enfocados al mejoramiento de vertimientos y manejo del agua, pues esta es un recurso renovable y en principio podrían calificar dentro de la jurisdicción del FONAM.

En conclusión, los esfuerzos deberían orientarse en principio hacia el desarrollo de proyectos que ayuden a realizar planes de ayuda y subsidio a los mineros a ejecutar estudios enfocados al conocimiento de sus depósitos minerales (asociaciones mineralógicas, disposiciones estructurales de los mantos y vetas, etc.) puntos clave que delimitan las tecnologías a implementar en los procesos de recuperación de metales, esto en conjunto con la realización de talleres minero-ambientales que promuevan conciencia sobre la importancia de realizar minería sostenible y con un control apropiado de los impactos ambientales generados.

Así mismo, se debería proceder a fomentar proyectos que busquen eliminación de sustancias contaminantes como el mercurio, proyectos que se fundamenten en la acción conjunta de los actores del sector. Vale la pena resaltar en el tema de las tecnologías que no solo se debe proponer dichas tecnologías y tratar de financiarlas, se debe llegar más a fondo y tratar de que estas sean lo más asequibles para este sector, estableciendo una estrategia de recursos e incentivos por parte del estado, enfocada a instaurar programas de apoyo económico al minero informal, de pequeña y mediana escala y facilitar su acceso al crédito, mediante la asignación de recursos financieros, que permitan realizar proyectos productivos, con período de gracia, tasas especiales y cubrimiento parcial o total de garantías, con el propósito de lograr mayores niveles de tecnificación y mejores procesos productivos, lo que se traduce en mejoras en la competitividad del sector.[246]

[245] Congreso de La República. Ley 99 de 1993.
[246] Ministerio de Minas y Energía. Política Nacional para la Formalización de la Minería en Colombia. Bogotá D.C. 2014

3.2. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS VERTIMIENTOS A LOS CUERPOS DE AGUA

Para poder cumplir con las normativas vigentes, referentes al vertido de aguas de mina a los cauces públicos, las compañías mineras activas deberían utilizar métodos físicos y físico-químicos que rebajen los posibles contaminantes de sus "aguas de mina" previamente al vertido[247].

Sin embargo, Los procedimientos actuales conocidos y propuestos para este fin suponen una seria carga financiera para la empresa, con unos costes que a veces son difíciles de asumir. En este sentido es muy importante el considerar el tamaño de compañía minera y su potencial capacidad financiera para asumir métodos o sistemas que se implanten y sean asumibles y en consecuencia realizables. Es fundamental la propuesta e implantación de sistemas de control y tratamiento de bajo coste para que aquellas explotaciones pequeñas (la mayoría) puedan asumir este nuevo escenario de trabajo[248].

Por lo anterior, a continuación se propondrán estrategias que se han tenido en cuenta para que ayuden a las UPM a mejorar la calidad de los vertimientos generados en ellos. Y más adelante se le hará la recomendación particular a cada una de ellas, teniendo en cuenta las características de los vertimientos que generan y los procesos unitarios que utilizan en las etapas de benéfico de los metales preciosos y carbón, así como su tamaño potencial.

Estrategias propuestas

- **Control De Vertimientos**: Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP[249], controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un

[247] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.
[248] Ibíd.
[249] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5

nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

- **Prevención de drenaje acido de mina**: Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el "balance" que se puede dar en el desecho[250].

- **Neutralización de vertimientos**: Efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia[251].

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental**: Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la b ocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

[250] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26
[251] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, Op. Cit.

- **Homogenización de caudales de descarga**: Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

- **Tratamiento de aguas domesticas**: El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales**: Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural y canalización de los techos con el fin de evitar su contaminación[252].

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles**: Instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo[253].

- **Sistema de reutilización de agua para humectación del carbón**: Construcción de un patio de acopio de suelo impermeable, con canales perimetrales y sistema de tratamiento y recirculación que permita la reutilización del agua en la humectación del carbón (en caso de que se requiera) y riego de vías (supresión de polvos), evitando la posible afectación del suelo y cuerpos de agua.

- **Metas de reducción de carga contaminantes**: Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor.

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes**: En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del

[252] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24
[253] OP. CIT

drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc.[254].

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**: Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser reparados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[255]

- **Gestión del riesgo de vertimientos**: Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[256].

3.2.1. Minería de Oro

3.2.1.1. Distrito minero del Nordeste Antioqueño

En el distrito minero Nordeste Antioqueño, se visitaron 5 UPM, de las cuales 2 se caracterizan por realizar extracción y beneficio del mineral y 3 por realizar solo el benéfico, de acuerdo a las características de los vertimientos generados en el proceso minero y los posibles efectos que estos efluentes generarían sobre los cuerpos de agua receptores, se proponen estrategias encaminadas a reducir vertimientos sobre los cuerpos de agua, suelo u otro cuerpo receptor. La aplicación de estas estrategias por parte de una UPM deberá garantizar la reducción de contaminantes en el vertimiento.

[254] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6.
[255] FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. MINERIA Y MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA. BOGOTA, 18 DE JUNIO DE 2014.
[256] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9

En las UPM 05895O01 y UPM 05895O02, se realiza extracción subterránea por medio del método de explotación de tambores paralelos y vierten sus descargas al mismo cuerpo de agua y en las UPM 05736O03, 05736O04 y 05736O05, solo se realiza el beneficio del mineral y vierten sus descargas indirectamente a la Quebraba La Cianurada, la cual atraviesa el casco urbano del municipio y recibe las descargas de otros entables en la zona.

Por lo anterior, las recomendaciones realizadas a continuación se harán teniendo en cuenta dos grupos y otras de manera general para todas, así:

a. Grupo 1

Este grupo está conformado por las UPM 05895O01 y 05895O02, en las que se realiza extracción subterránea por medio del método de explotación de tambores paralelos y vierten sus descargas al mismo cuerpo de agua.

UPM 05895O01 presenta descargas que confluyen hacia un mismo punto principal, proveniente de las operaciones unitarias de Molienda, Concentración y Cianuración, todos los vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta una piscina de sedimentación que se encuentra totalmente colmatada, a partir de la cual el agua es vertida sobre una corriente que finalmente llega a un arroyo.

En la UPM 05895O02 presenta generalmente descargas que confluyen hacia un mismo punto principal, proveniente de Molienda y Cianuración, todos los vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta una piscina de sedimentación que se encuentra totalmente colmatada, a partir de la cual el agua es vertida sobre una corriente que finalmente llega a un arroyo.

Las propuestas de estrategias para disminuir la generación de sustancias contaminantes y mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua para estas UPM son:

- Durante todas las etapas del proyecto minero, llevar a cabo muestreos y análisis para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril, hacer pruebas estáticas y cinéticas para medir el potencial ácido y calcular el potencial neutralizante en las muestras extraídas; esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de

neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el "balance" que se puede dar en el desecho[257].

- Al encontrarse efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados, como en el caso de la UPM 05895O02. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia[258] .

- Recolectar los efluentes provenientes de los drenajes de la bocamina y plantas de beneficio (utilizando las pozas de sedimentación existentes para reducir la concentración de sólidos suspendidos) y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un mayor nivel de recuperación de aguas, ampliando su capacidad e impermeabilizándolas para prevenir perdidas por infiltración.

- Evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón que pueden ser contaminadas por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, haciendo una revisión de la pendiente para identificar si esta es adecuada y realizar ajustes en el terreno en la bocamina si fuese necesario.

- Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo o el cuerpo hídrico receptor.

b. Grupo 2

Este grupo está conformado por las UPM 05736O03, 05736O04 y 05736O05, en las que solo se realiza el beneficio del mineral y vierten sus descargas indirectamente a la Quebraba La Cianurada, la cual atraviesa el casco urbano del municipio y recibe las descargas de otros entables en la zona.

La UPM 05736O03 presenta descargas que confluyen hacia un mismo punto principal, provenientes de las operaciones unitarias de Molienda, Concentración, Cianuración y Retorta, a excepción del agua usada para consumo humano y riego de calles, todos los

[257] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26.
[258] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta las 2 piscinas de sedimentación con una capacidad de 6 m^3 cada una.

La UPM 05736O04 presenta descargas que confluyen hacia un mismo punto de vertimientos principal, provenientes de las etapas de Molienda y Concentración, todos los vertimientos son dirigidos por una estructura de canaletas de concreto hasta una secuencia de 17 piscinas con una capacidad de 2,6 m^3 cada una.

La UPM 05736O05 presenta descargas que confluyen hacia un mismo punto de vertimiento principal, proveniente de la etapa de molienda, el cual es dirigido por una estructura de canaletas de concreto hasta una secuencia de 17 piscinas de sedimentación con capacidad de 2,6 m^3 cada una.

Las propuestas de estrategias para disminuir la generación de sustancias contaminantes y mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua para estas UPM son:

- Recolectar los efluentes provenientes de las operaciones unitarias realizadas en las plantas de beneficio (utilizando las pozas de sedimentación existentes para reducir la concentración de sólidos suspendidos) y realizar inspecciones periódicas para prevenir perdidas por infiltración[259].

- Al encontrarse efluentes de las plantas de beneficio con pH menor a 6 deben ser neutralizados, como en el caso de las UPM 05736O04 y 05736O05. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia[260].

- Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de en el sistema de tratamiento, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo o el cuerpo hídrico receptor.

c. Estrategias Generales

Adicional a estas propuestas de estrategias para disminuir la generación de sustancias contaminantes y mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua en cada una de las minas visitadas; se implementaran las siguientes en todas las UPM:

[259] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.
[260] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos:** Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser reparados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa[261].

- **Metas de reducción de carga contaminantes:** Establecer metas de reducción de carga contaminante, en conjunto con la Corporación Autónoma Regional correspondiente, de conformidad con los parámetros de calidad establecidos por esta para el cuerpo receptor.

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental:** Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitores de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

- **Gestión del riesgo de vertimientos:** Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, los cuerpos o drenaje hídricos en inmediación del proyecto, aplicando procedimientos educativos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[262].

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales:** Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias para evitar que entren en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurran directamente al cuerpo de agua receptor o al suelo, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como canalización de los techos[263].

- **Homogenización de caudales de descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

[261] Fedesarrollo y sector de la minería de gran escala. Minería y medio ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de junio de 2014.
[262] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9
[263] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24)

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes:** En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc[264]

  En la siguiente tabla se encuentra de manera detallada los metales y metaloides encontrados en cada UPM que sobre pasan los límites permisibles establecidos en la normas, específicamente en la resolución 631 de 2015.

Tabla 168. Metales pesados presentes en los vertimientos del distrito minero nordeste antioqueño.

UPM	Metales presentes en los vertimientos					
	Cadmio	Hierro	Plomo	Zinc	Cobre	Mercurio
05895O01		X				
05895O02		X				
05736O03	X	X	X	X		X
05736O04	X	X			X	X
05736O05	X	X	X			X

Por lo anterior se sugieren los siguientes sistemas de tratamiento:

Precipitación química: La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas

[264] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6

sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[265]. Este método es empleado para la eliminación de los siguientes metales pesados: Cromo, Hierro, Mercurio, Cadmio y Plomo.

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[266].

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.
Humedales artificiales: Los humedales construidos se han clasificado en dos tipos, humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial.

Humedales artificiales de flujo superficial
En un humedal artificial de flujo superficial, la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, y su profundidad varía entre 1 y 4.5 metros. Este tipo de sistemas consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos de estos sistemas se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos[267] (Crites, 2000).

Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Humedales de flujo horizontal: En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad de agua es de entre 0,3 y 0,9 m. se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de

[265] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)
[266] Ibíd.
[267] Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2, Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Bogotá.

la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m^2.dia[268]. (García, J., Corzo, A., 2008).

Humedales de flujo vertical: Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno[269]. (García, J., Corzo, A., 2008)

Carbón activado: Como parte de la estrategia de cerrar el ciclo de beneficio dentro del proceso minero, se ha desarrollado una experiencia positiva en la fijación de metales pesados liberados durante el proceso de molienda y separación, consistente en la construcción de una batería de columnas homogéneas de carbón activado con las cuales se han obtenido remociones superiores al 90% de elementos metálicos como mercurio, plomo, zinc, etc. Las pruebas realizadas hasta la fecha parten de las propiedades físicas químicas del carbón activado como medio de fijación de iones positivos de diferente origen La implementación de sistemas de fijación de metales pesados contenidos en efluentes mineros mediante la aplicación de sistemas filtrantes de carbón activado y zeolita, es viable técnica y económicamente y debe ser incluida en el corto plazo como una exigencia ambiental a las plantas de beneficio. Las propiedades más importantes a resaltar dentro del carbón activado para la remoción de metales pesados son (UPME, 2007[270]):

- Capacidad de adsorción
- Velocidad de adsorción
- Resistencia mecánica
- Características reactivas
- Distribución granulométrica

De acuerdo a las investigaciones, los carbones activados producidos de concha de coco son utilizados para la recuperación de metales preciosos y la remoción de metales pesados.

[268] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 5)
[269] Ibíd. p. 8
[270] MINMINAS, UPME. Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras sustancias. 2007

Teniendo en cuenta esta estrategia se debe tener cuidado con el mantenimiento realizado, ya que en el caso que estos filtros tengan una colmatación son capaces de liberar los contaminantes previamente retenidos, aportando mayores concentraciones de ellos en el vertimiento.

3.2.1.2. Distrito minero de San Martín de Loba

En el departamento de Bolívar se visitaron 10 UPM ubicadas en los municipios de San Martín de Loba, Norosí, Altos del Rosario y Hatillo de Loba, de las cuales, al momento de las visitas de campo.

A continuación se analizaran los resultados de los muestreos tomados a los vertimientos en las UPM, en concordancia con la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, que entraran en vigencia el 1 de Enero del 2016.

a. UPM 13490O01 :

La UPM cuenta con dos vertimientos, uno proveniente de la concentración y otro de la hidrometalurgia, consta de dos relaveras para la descarga de mesa vibratoria y una para las arenas cianuradas, como tratamiento para cada uno respectivamente. Se observó que el vertimiento de la concentración se estaba efectuando directamente al suelo, porque se encontraba colmatada las dos relaveras dispuestas para tal fin. Por lo anterior, se han propuesto las siguientes estrategias destinadas al recurso hídrico.

- **Control de Vertimientos:** Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP (Agencia De Cooperación Alemana-GIZ, 2014)[271]. controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que

[271] Agencia De Cooperación Alemana- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5

las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

El agua de drenaje de la bocamina es utilizada para el abastecimiento de las operaciones unitarias, sin ningún tratamiento previo, es captada directamente a través de bombeo y tubería. Esta entrada presenta niveles de solidos totales superiores a los límites permisibles de la norma.

El agua proveniente de la planta de beneficio es enviada a relaveras que necesitan mantenimiento. Las destinadas a las colas procedentes de la concentración necesitan ser descolmatadas con maquinaria pesada que retire los residuos sólidos y darle tratamiento al agua si presenta variables que puedan afectar las operaciones mineras al recicularla. Por otra parte se encuentra la relavera que recibe las colas de la hidrometalurgia, a la fecha de la visita no se encontraba llena.

Todas las relaveras necesitan impermeabilización con geotextiles que eviten la infiltración de posibles contaminantes que alteren las propiedades del suelo y aguas subterráneas, además de tubería que recircule el agua a cada operación respectivamente.

- **Prevención de Drenaje Acido de Mina:** Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el “balance” que se puede dar en el desecho (AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, 2014)[272].

  La UPM hasta la fecha de la visita no había adelantado estudios de los minerales asociados a los depósitos, desconociendo la posible generación de drenaje acido de minas. Las muestras tomadas en la entrada de agua al sistema proveniente de la

[272] Agencia Nacional De Minería, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26

bocamina no mostro pH acido, ni niveles de sulfuro por encima de los límites permisibles.

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías**: Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

  Al momento de la visita a la UPM la tubería de conducción del socavón se encontraba en buen estado, no se reportaron registros de inspección anteriores, ni controles posteriores. Siendo recomendable la planificación de inspecciones periódicas.

b. UPM 13490O02-1:

En la UPM se muestreo el vertimiento hacia la quebrada Arenoso, proveniente de las operaciones de molienda – amalgamación. Tiene un único tratamiento de cuatro pozas de sedimentación continuas. Teniendo en cuenta esto, se han propuesto las siguientes estrategias destinadas al recurso hídrico.

- Control de Vertimientos: Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP (Agencia De Cooperación Alemana-GIZ, 2014)[273]. controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

  El agua de drenaje de la bocamina es utilizada para el abastecimiento de las operaciones unitarias, sin ningún tratamiento previo, es captada directamente a través

[273] Agencia De Cooperación Alemana- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5

de bombeo y tubería. Esta entrada presenta niveles de solidos totales superiores a los límites permisibles de la norma.

Los efluentes provenientes de la descarga del lavado de los cocos, son recolectados en pozas de sedimentación, las cuales se les debe realizar mantenimiento, porque se encuentra colmatadas de las colas e instalar tuberías, que transporten el agua ya desarenada nuevamente al proceso.

- **Prevención de Drenaje Acido de Mina**: Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el "balance" que se puede dar en el desecho (Agencia Nacional de Minería, 2014)[274].

  La UPM hasta la fecha de la visita no había adelantado estudios de los minerales asociados a los depósitos, desconociendo la posible generación de drenaje acido de minas. Las muestras tomadas en la entrada de agua y descarga no evidencian pH acido, pero si muestran niveles de sulfuro por encima de los límites permisibles en el vertimiento.

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías:** Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

  Al momento de la visita a la UPM la tubería de conducción del socavón no se encontraba en buen estado, puesto que tenían malas uniones y presentaban fugas de agua, estaban añadidas. No se reportaron registros de inspección anteriores, ni controles posteriores. Se debe realizar monitoreo frecuentemente a la tubería de captación para optimizar la demanda del recurso hídrico.

[274] Agencia Nacional De Minería, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26

- **Tratamiento de Aguas Domesticas**: El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  La UPM no presentaba ningún tipo de tratamiento de aguas domésticas, estas aguas son vertidas directamente a la quebrada Arenoso. Proponiendo la adopción de un sistema de trampa de grasas en las cocinas de los hogares de los trabajadores, ubicados alrededor de la UPM y un tanque séptico individual o comunitario para las aguas residuales generadas en los baños de los hogares, de tal forma que no se continúen con los vertimiento a la quebrada Arenoso.

- **Eliminación de Metales Pesados en los Efluentes**: En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc (Agencia De Cooperación Alemana- Giz, (2014)[275].

  En la UPM es preciso reducir los niveles de hierro, plomo, cobre y mercurio en el vertimiento al superar los límites permisibles de la norma. Además, se encontraron valores altos en los sólidos totales los cuales indican la cantidad de materia disuelta y en suspensión dentro de una muestra de agua, al igual que los sulfatos. Todos estos parámetros se encuentran por encima de la norma.

c. UPM 13667O03:

En la UPM se presentan dos vertimientos a un cuerpo de agua superficial, quebrada La Danta, provenientes de los procesos de concentración e hidrometalurgia. Las colas descargadas de la mesa de concentración llegan a cuatro pozas de sedimentación y las arenas cianuradas junto con el agua utilizada para su lavado, son almacenadas en una relavera. Ambos sistemas son los únicos tratamientos implementados al vertimiento en la UPM La Cabaña. A continuación se describen algunas estrategias para tratarlo:

[275] Agencia de Cooperación Alemana - Giz, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería.

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías**: Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

  Al momento de la visita a la UPM la tubería de conducción del socavón se encontraba en buen estado, debido a que se encontraban adelantando labores de construcción y mejoramiento de la bocamina. No se reportaron registros de inspección anteriores, ni controles posteriores. Siendo necesario la programación de monitoreos a las tuberías, dentro de las labores mineras.

- **Tratamiento de Aguas Domesticas:** El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  La UPM cuenta con un campamento que presenta disposición final de las aguas residuales de la cocina y los baños en una poza séptica. Encontrándose falencias en la instalación de trampas de grasa para las aguas utilizadas en la cocina, siendo recomendable la adopción de este sistema.

d. UPM 13030O06-3:

La UPM se observó un vertimiento proveniente de las operaciones de molienda – amalgamación, que tienen como destino final el suelo. Tiene un único tratamiento una poza de sedimentación. Las recomendaciones para esta UPM, son las siguientes:

- **Tratamiento de Aguas Domesticas**: El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  El entable se encuentra en el patio del propietario, teniéndose consumo doméstico por parte de los trabajadores y sus familias sin ningún tratamiento de estas aguas residuales. Es necesaria la construcción de un tanque séptico cumpliendo las normas técnicas para su ubicación, al igual que la instalación de una trampa de grasa en la cocina.

e. UPM 13667O04-1:

En el Caserío se presenta la ubicación de diferentes entables que vierten las aguas provenientes de las operaciones de molienda – amalgamación a la quebrada Azulita, cuerpo de agua superficial que atraviesa esta población, esta vierte sus aguas a quebrada Mejía, que luego se convierte en un drenaje conector del Brazo Papayal, siendo este

último un tributario del río Magdalena. Se realizó muestreo a un solo entable considerándolo representativo, al encontrarse características iguales respecto al vertimiento. Estos tienen como único tratamiento pozas de sedimentación de lodos.

La siguiente estrategia busca mejorar la calidad de los vertimientos:

- **Tratamiento de Aguas Domesticas**: El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  En el Caserío Los Entables los trabajadores viven con sus familias alrededor de las UPM, siendo necesaria la construcción de tanques sépticos para el tratamiento de aguas residuales del baño y la cocina, al igual que trampas de grasas en cada una de las cocinas de las viviendas. Puesto que al momento de la visita, las aguas residuales también son vertidas a la quebrada Azulita.

f. UPM 13667O10:

La UPM se evidencio un vertimiento generado por las operaciones de molienda y molienda – amalgamación, a la quebrada El Puerto, donde su función principal es recibir el vertimiento de la UPM. En tiempos de sequía se encuentra totalmente seca, el vertimiento se infiltra en el suelo. En tiempo de lluvias su caudal crece convirtiéndose en un drenaje conector del Brazo Papayal, que a su vez se vuelve un tributario del Río Magdalena. Teniendo en cuenta esto, se consideraron algunas estrategias para tratar el vertimiento:

- **Control de Vertimientos:** Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP (Agencia De Cooperación Alemana-GIZ, 2014)[276]. controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando

[276] Agencia De Cooperación Alemana- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5

lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

El drenaje de las bocaminas es llevada afuera de la UPM a un caño artificial formado por los drenajes de las bocaminas, para ser bombeadas hasta las operaciones mineras desarrolladas.

Los efluentes de las etapas de beneficio caen a pozas de sedimentación de lodos, para la retención de arenas y luego las aguas son descargadas a la quebrada El Puerto. Es necesario la instalación de tuberías para el transporte de agua ya desarenada hacia la recirculación en los cocos amalgamadores y molinos californianos.

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías:** Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

  Al momento de la visita a la UPM la tubería de captación desde los socavones no se encontraba en buen estado, puesto que tenían malas uniones y presentaban fugas de agua, estaban añadidas. No se reportaron registros de inspección anteriores, ni controles posteriores. Se debe realizar monitoreo frecuentemente a la tubería de captación para optimizar la demanda del recurso hídrico.

g. UPM 13667O07:

La UPM no exhibe ningún vertimiento a un cuerpo de agua superficial, las descargas de las operaciones de concentración, molienda e hidrometalurgia confluyen a un canal de recirculación, para abastecer nuevamente las etapas de beneficio. Los tratamientos utilizados son pozas de sedimentación, filtración de los efluentes por vegetación abundante y aireación del drenaje en su trayectoria por el canal de recirculación. Se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones para mejorar el vertimiento:

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías**: Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

  Al momento de la visita la UPM, la tubería se encontraba en buen estado desde la captación desde la bocamina, hasta el sistema de almacenamiento, mientras que la

tubería procedente desde la recirculación se observó desgastada. Se propone realizar revisiones periódicas a las tuberías de conducción del agua.

- **Tratamiento de Aguas Domesticas:** El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  La UPM cuenta con campamento y oficinas para el personal administrativo. Se tuvo conocimiento de que tiene tanque séptico para el depósito de aguas residuales, no cuentan con cocina. Se deben realizar mantenimiento del tanque séptico ya instalado en la UPM.

- **Tratamiento de Lixiviados en el Botadero de Estériles: Instalar** en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo (Ministerio del Medio Ambiente, 1998)[277].

  La UPM cuenta con un sitio de acopio de estériles temporalmente, puesto que el material es regalado a la comunidad para labores de construcción a mantenimiento de vías. En el botadero no cuenta con sistema de recolección y tratamiento de agua, es necesario la construcción de canales en suelo natural que recoja y almacene las aguas de escorrentía en temporada de lluvia.

h. UPM 13667O08:

La UPM no presenta ningún vertimiento a un cuerpo de agua superficial, las colas del proceso de concentración llegan a tres relaveras continuas, para la sedimentación de arenas, el agua es filtrada para ser almacenada en una poza con posterior bombeo hacia la recirculación y abastecimiento de las etapas del proceso de beneficio. Con el objetivo de mejorar el vertimiento, se recomendaran las siguientes estrategias:

- **Prevención y Monitoreo del Estado de las Tuberías:** Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

[277] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24

Al momento de la visita la UPM, la tubería se encontraba en buen estado desde la captación desde la bocamina y la procedente desde la recirculación. Se propone programar monitoreos de la tubería, superficiales y subterráneas, con el fin de optimizar el recurso hídrico.

- **Tratamiento de Aguas Domesticas:** El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  La UPM cuenta con campamento, oficinas para el personal administrativo, laboratorio, baños y cocina. Se tuvo conocimiento de que tiene tanque séptico para el depósito de aguas residuales. Se deben realizar mantenimiento del tanque séptico ya instalado en la UPM y se sugiere la aplicación de un sistema de trampa de grasa en la cocina.

i. UPM 13300O09:

La UPM al momento de la visita estaba desarrollando solo operaciones de molienda – amalgamación, las colas son depositadas en dos pozas de sedimentación, con destino final el suelo, puesto que el agua se infiltra. Considerando los anterior, se recomendaran las siguientes estrategias para mejorar el vertimiento:

- **Control de Vertimientos:** Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP (Agencia De Cooperación Alemana-GIZ, 2014)[278]. controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

  Los efluentes provenientes de los cocos amalgamadores son depositados en pozas de sedimentación, que necesitan ser descolmatadas periódicamente de arenas, para

[278] Agencia De Cooperación Alemana- GIZ (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5

mejorar su eficiencia en la retención de solidos suspendidos, además se debe instalar tubería para el transporte del agua ya desarenada hacia la recirculación en la etapa de molienda.

- **Tratamiento de Aguas Domesticas:** El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  La UPM cuenta con campamento, cocina y baños. Se tuvo conocimiento de que tienen tanque séptico para el depósito de aguas residuales, pero no se observó trampa de grasa en la cocina, recomendándose la instalación de esta.

j. Estrategias Generales

Considerando las visitas de campo realizadas a la UPM y las características en común de todas ellas, se deben proponer unas estrategias para mejorar el vertimiento de manera global.

- **Cumplimiento de la Normatividad Ambiental:** Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

- **Homogenización de Caudales de Descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

  Durante las visitas a la UPM se observó que las descargas no son constantes durante el proceso de beneficio, siendo necesario la implementación de tanques de igualación de caudal, antes de realizarse en tratamiento.

- **Manejo y Recuperación de Aguas Pluviales:** Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento

de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural y canalización de los techos con el fin de evitar su contaminación (Ministerio del Medio Ambiente, 1998)[279].

Las UPM visitadas en el distrito minero de San Martín de Loba no cuentan con ningún sistema de recolección de aguas lluvias, por lo tanto es recomendable implementar cunetas perimetrales en suelo natural para las UPM 13490O01, 13030O06, 13667O03, 13667O07 y 13667O08, aprovechado la pendiente que facilita el drenaje para el almacenamiento y posterior uso. Mientras que en 13490O02, 13667O04, 13667º10 y 13300O09 se propone la canalización de los techos.

- **Metas de Reducción de Carga Contaminantes**: Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor. En las UPM es necesario establecer metas de reducción para los parámetros que demuestre la presencia de carga contaminante en el vertimiento, estas deben programarse en conjunto con la corporación autónoma regional correspondiente o autoridad gubernamentales responsables, fijando porcentajes de reducción específicos para cada parámetro.
- **Prevención de Generación de Residuos Peligrosos:** Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos (Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala, 2014)[280].

- **Eliminación de Metales Pesados en los Efluentes:** En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc (Agencia De Cooperación Alemana- Giz, (2014)[281].

[279] Ministerio del Medio Ambiente (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24.
[280] FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA (2014). Minería y medio ambiente en Colombia. Bogotá.
[281] Agencia de Cooperación Alemana - Giz, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería.

Las UPM visitadas en el distrito minero de San Martín de Loba arrojaron resultados en el vertimiento con concentraciones que superan los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo a la Resolución 631 de 2015. A continuación en la tabla se observan los metales correspondientes para cada una.

Tabla 169. Metales presentes en los vertimientos del Distrito minero de San Martín de Loba

UPM	Cadmio	Hierro	Plomo	Zinc	Níquel	Cobre	Cromo	Mercurio
13490O01						X		X
13490O02-1		X	X			X		X
13667O03								X
13033O06-3	X	X	X	X		X	X	X
13667O04-1		X	X					X
13667O10								X
13667O07								X
13667O08	X	X	X	X				X
13300O09								X

Con el propósito de mejorar las concentraciones de metales pesados en cada una de las UPM, se sugieren algunos tratamientos implementados para mejorar la calidad de los vertimientos:

Precipitación química: La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[282]. Este método es empleado para la eliminación de los siguientes metales pesados: Cromo, Hierro, Mercurio, Cadmio y Plomo.

[282] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[283].

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.

Humedales artificiales: Los humedales construidos se han clasificado en dos tipos, humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial.

- **Humedales artificiales de flujo superficial**

  En un humedal artificial de flujo superficial, la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, y su profundidad varía entre 1 y 4.5 metros. Este tipo de sistemas consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos de estos sistemas se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos[284] (Crites, 2000).

- **Humedales artificiales de flujo subsuperficial**

  Humedales de flujo horizontal: En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad de agua es de entre 0,3 y 0,9 m. se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo

[283] Ibíd.
[284] Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2, Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Bogotá.

de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 gDBO/m^2.dia[285]. (García, J., Corzo, A., 2008).

Humedales de flujo vertical: Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno[286]. (García, J., Corzo, A., 2008)

Carbón activado: Como parte de la estrategia de cerrar el ciclo de beneficio dentro del proceso minero, se ha desarrollado una experiencia positiva en la fijación de metales pesados liberados durante el proceso de molienda y separación, consistente en la construcción de una batería de columnas homogéneas de carbón activado con las cuales se han obtenido remociones superiores al 90% de elementos metálicos como mercurio, plomo, zinc, etc. Las pruebas realizadas hasta la fecha parten de las propiedades físicas químicas del carbón activado como medio de fijación de iones positivos de diferente origen La implementación de sistemas de fijación de metales pesados contenidos en efluentes mineros mediante la aplicación de sistemas filtrantes de carbón activado y zeolita, es viable técnica y económicamente y debe ser incluida en el corto plazo como una exigencia ambiental a las plantas de beneficio. Las propiedades más importantes a resaltar dentro del carbón activado para la remoción de metales pesados son (UPME, 2007[287]):

- Capacidad de adsorción
- Velocidad de adsorción
- Resistencia mecánica
- Características reactivas
- Distribución granulométrica

De acuerdo a las investigaciones, los carbones activados producidos de concha de coco son utilizados para la recuperación de metales preciosos y la remoción de metales pesados.

[285] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 5)
[286] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 8)
[287] MINMINAS, UPME. Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras sustancias. 2007

Teniendo en cuenta esta estrategia se debe tener cuidado con el mantenimiento realizado, ya que en el caso que estos filtros tengan una colmatación son capaces de liberar los contaminantes previamente retenidos, aportando mayores concentraciones de ellos en el vertimiento.

- **Gestión del Riesgo de Vertimientos**: Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones (AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, 2014)[288].

  En las UPM visitadas no se adelanta ningún tipo de plan de prevención o mitigación a posibles derrames de sustancias peligrosas a cuerpos de aguas superficial, subterráneas y aguas lluvias. Por lo cual se recomienda enfocar planes a la gestión de riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua y el suelo.

3.2.1.3. Distrito minero del Tambo (Cauca)

De acuerdo a las características y condiciones en las 10 UPM visitadas fueron observados e identificados los comportamientos de vertimiento después de pasar por el proceso de beneficio en cada una de ellas. Teniendo en cuenta impacto a los efluentes causados por la minería aurífera y las alteraciones en la calidad del agua se establecen algunas medidas correctivas y preventivas para el mejoramiento de calidad de las mismas en cada UPM como se muestra a continuación y finalmente se realizaran unas recomendaciones generales para todas las minas:

a. UPM 19780O01:

El vertimiento en la UPM 19780O01 se caracteriza por presentar un tanque de sedimentación donde pasan las colas (solidos-agua) después del proceso de beneficio y se presenta un asentamiento de los sólidos suspendidos en el agua, bajo la acción de la gravedad. Seguido de este proceso el efluente es enviado a la quebrada el Peñón, el cual

[288] Agencia Nacional De Minería, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26

posteriormente desemboca en el rio Cauca; mensualmente se vierte un volumen de 259.2 m^3. A continuación se describen algunas estrategias para tratar el vertimiento en esta UPM:

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina. Además se debe tener en cuenta que el agua subterránea no tiene uso en el proceso de beneficio, por lo tanto hay que tener mayor cuidado y aprovechamiento de esta fuente ya que también serviría como abastecimiento en la planta de beneficio.

b. UPM 19780O02:

El vertimiento en la UPM 19780O02 se caracteriza por presentar un tanque de sedimentación donde pasan las colas (solidos-agua) después del proceso de beneficio y se presenta un asentamiento de los sólidos suspendidos en el agua, bajo la acción de la gravedad; mensualmente se vierte un volumen de 109.2 m^3. Se recomienda que se realicen los mantenimientos pertinentes a este tratamiento y si es necesario que construyan otros tanques sedimentadores para mayor capacidad. A continuación se describen algunas estrategias para tratar el vertimiento en esta UPM:

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** Igualmente en la UPM 19780O02 realizan explotación subterránea, y se debe evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

c. UPM 19110O04:

El vertimiento en la UPM 19110O04 se caracteriza por presentar un tanque de sedimentación donde pasan las colas (solidos-agua) después del proceso de beneficio que luego llega a una relavera, finalmente el agua se transporta al rio la Teta; mensualmente se vierte un volumen de 2890 m^3. Se recomienda realizar mantenimiento de los tratamientos para proporcionar un adecuado uso de ellos y evitar saturaciones en el sistema.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Homogenización de caudales de descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor. En este caso se debe mezclar los dos vertimientos del proceso de beneficio para llevarlos al mismo Sistema de Tratamiento, también se recomienda realizarles análisis fisicoquímicos para conocer la calidad que presentan y seguir mejorando estas alternativas.

- **Tratamiento de aguas domesticas:** Debido a que en la mina no se observa manejo del agua doméstica se recomienda realizar el tratamiento que estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico. Se deben tener en cuenta el agua utilizada en la cocina y en los baños, etc.

d. UPM 19110O03:

El vertimiento en la UPM 19110O03 se caracteriza por utilizar para el tratamiento de los vertimientos una relavera, la cual está siendo ampliada utilizando el lodo que sale del proceso de beneficio en “pasta”, se recomienda que la relavera esté construida para que no tenga contacto con el suelo (utilizar geomembrana) además es muy importante la metodología de reuso del agua, ya que normalmente un 60% aproximadamente del agua se recircula en el proceso y así se aprovecha en gran cantidad el recurso hídrico.

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la UPM 19110O03:

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Tratamiento de aguas domesticas:** Se recomienda realizar el tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

e. UPM 19110O05:

Para realizar el tratamiento del agua del proceso de beneficio de la UPM 19110O05, se utiliza un tanque de sedimentación donde ocurre un asentamiento de los sólidos suspendidos en el agua, bajo la acción de la gravedad y por último el agua es enviada al río la Teta; mensualmente se vierte un volumen de 43.46 m^3.
Las recomendaciones para esta UPM, son las siguientes:

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** Cuando la minería es subterránea se debe evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón. Las aguas de escorrentía pueden ser contaminadas por el arranque y transporte de sedimentos. Por esto es necesario realizar análisis fisicoquímicos del agua subterránea ya que si no se hacen las alternativas necesarias (implementación de techado y ajustes de pendiente del terreno en la bocamina) puede ocasionar afectaciones al recurso hídrico.

- **Homogenización de caudales de descarga**: Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

f. UPM 19256O06:

El tratamiento del vertimiento del proceso de beneficio de la UPM 19256O06, se realiza en una relavera, donde ocurre un asentamiento de los sólidos suspendidos en el agua, bajo la acción de la gravedad, donde el agua queda almacenada sin hacerle otro tipo de uso. Es recomendable poner una barrera entre las colas y el suelo y la reutilización del agua para que entre nuevamente al proceso de beneficio y que la fuente de abastecimiento tenga menor demanda; mensualmente se vierte un volumen de 518.4 m^3.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Tratamiento de aguas domesticas:** El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico

g. UPM 19256O07:

En la UPM 19256O07 el vertimiento es enviado a un tanque de sedimentación donde se quedan los sólidos y son retirados con pala para llevarlos a la etapa de cianuración del proceso de beneficio, por ultimo las aguas son servidas a una relavera, la cual se recomienda realizarle mantenimiento y/o rediseñarla ya que es conveniente que tenga una geomembrana y de esta manera evitar infiltraciones al suelo. Finalmente el agua sale por una tubería que llega a la quebrada aguas Claras.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

h. UPM 19256O08:

Para el tratamiento de las aguas de mina, se cuenta con un tanque de sedimentación que facilita la separación de los sólidos y el agua. Los sólidos se retiran del tanque con pala y son llevados a la cianuración. El agua se transporta por una tubería a una relavera como disposición final; mensualmente se vierte un volumen de 595.2 m^3.

- **Neutralización de vertimientos:** Efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia (Agencia de Cooperación Alemana- GIZ, 2014)[289].

i. UPM 19256O09:

El vertimiento de la UPM 19256O09 se caracteriza por ser enviado a un tanque de sedimentación, en este proceso, los sólidos se retiran con pala y el agua tiene una descarga directa sobre el suelo; se vierte un volumen mensual de 1330.56 m^3.

[289] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ, (2014)[289]. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Tratamiento de aguas domesticas:** Como recomendación para la UPM 19256O09, el tratamiento para las aguas domesticas debe estar compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

j. UPM 19622O10:

Para el tratamiento del agua utilizada en el proceso de beneficio se tienen 3 pozos que cumplen la función de tanques sedimentadores y esta agua no se dispone en ningún lado, de manera que esta agua se pierde por evaporación y en el momento que se colmata esta se rebosa y se escurre hasta la falda de la montaña. Es conveniente realizar mantenimiento y/o rediseñar el tratamiento, ya que se observa deficiencia en el que utilizan.

Las recomendaciones para esta UPM, son las que serán recomendadas de forma general para todas las minas.

k. Estrategias generales de vertimiento

- **Control de vertimientos:** Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) (Agencia de Cooperación Alemana- Giz, 2014[290]). controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y

[290] Agencia De Cooperación Alemana- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

En la mayoría de las UPM, los efluentes son enviados de la planta de beneficio y pasan por un tanque de sedimentación. Se recomienda realizar mantenimiento periódicamente a los tratamientos que se utilizan para los efluentes (vertimientos), además realizar análisis de las aguas vertidas para conocer sus contenidos y que mejores tratamientos practicar en ellas. A los lodos que se retiran del tanque sedimentador se les puede realizar una PRUEBA CRETIB (corrosivos, Reactivos, Explosivos, Tóxicos, Inflamables Biológicos – Infecciosos) y de esta manera determinar su disposición.

Otra de las tecnologías recomendadas para reducir las concentraciones de sólidos suspendidos y otros contaminantes es la construcción de relaveras o presas de residuos, las cuales tienen como función principal almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos procedentes del proceso de beneficio. En el caso en que los efluentes contengan contaminantes tóxicos, las relaveras deben ser diseñadas para largos periodos de tiempo, hasta que se degraden las sustancias químicas perjudiciales o hasta que se evapore el agua. Las presas de residuos se diferencian de las presas de tierra y escollera convencionales en cuatro aspectos básicos (Ministerio de Industria y Energía, 1989)[291]:

- Las presas de residuos o relaveras almacenan tanto sólidos como líquidos.
- En muchos casos, los propios residuos se utilizan como material de construcción del dique de la presa.
- Las presas se construyen, normalmente, por etapas siguiendo el desarrollo de las operaciones.
- Suelen requerirse modificaciones en el diseño y operación de llenado de la presa al introducirse cambios en los procesos de tratamiento.

- **Prevención de drenaje acido de mina**: Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial

[291] Ministerio de Industria y Energía. Instituto Tecnológico Geominero de España, 1989. Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. Madrid. p. 45.

ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el "balance" que se puede dar en el desecho (Agencia Nacional de Minería, (2014)[292].

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental:** Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías:** realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales:** Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural y canalización de los techos con el fin de evitar su contaminación. (Ministerio del Medio Ambiente, 1998)[293].

- **Metas de reducción de carga contaminantes**: Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor.

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes:** En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de

[292] Agencia Nacional de Minería, (2014)[292]. Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26
[293] Ministerio del Medio Ambiente, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24)

métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc. (Agencia de Cooperación Alemana- GIZ, (2014)[294].

Las UPM visitadas muestran unas concentraciones que superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), a continuación en la Tabla 170 se observan cuales se encuentran en cada UPM:

Tabla 170. Metales pesados que superan los LMP en cada una de las UPM del Distrito minero del Tambo

UPM	Metales Pesados						
	Arsénico	Cadmio	Hierro	Plomo	Zinc	Cobre	Mercurio
19780O01			X				X
19780O02			X				X
19110O05	X		X				X
19110O03			X			X	X
19110O04							X
19256O06				X		X	X
19256O07			X				X
19256O08			X	X			X
19256O09			X	X	X		X
19622O10							X

Con el propósito de mejorar las concentraciones de metales pesados en cada una de las UPM a continuación se describen algunas prácticas que mejoren la calidad de los vertimientos:

Precipitación química: La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante

[294] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ, (2014)[294]. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6

como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[295]. Este método es empleado para la eliminación de los siguientes metales pesados: Cromo, Hierro, Mercurio, Cadmio y Plomo.

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[296].

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.

Humedales artificiales: Los humedales construidos se han clasificado en dos tipos, humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial.

- **Humedales artificiales de flujo superficial**

  En un humedal artificial de flujo superficial, la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, y su profundidad varía entre 1 y 4.5 metros. Este tipo de sistemas consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos de estos sistemas se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos[297] (Crites, 2000).

[295] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)
[296] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 23)
[297] Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2, Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Bogotá.

- **Humedales artificiales de flujo subsuperficial**

  - **Humedales de flujo horizontal:** En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad de agua es de entre 0,3 y 0,9 m. se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 gDBO/m^2.dia[298]. (García, J., Corzo, A., 2008).

  - **Humedales de flujo vertical:** Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno[299]. (García, J., Corzo, A., 2008)

Carbón activado: Como parte de la estrategia de cerrar el ciclo de beneficio dentro del proceso minero, se ha desarrollado una experiencia positiva en la fijación de metales pesados liberados durante el proceso de molienda y separación, consistente en la construcción de una batería de columnas homogéneas de carbón activado con las cuales se han obtenido remociones superiores al 90% de elementos metálicos como mercurio, plomo, zinc, etc. Las pruebas realizadas hasta la fecha parten de las propiedades físicas químicas del carbón activado como medio de fijación de iones positivos de diferente origen La implementación de sistemas de fijación de metales pesados contenidos en efluentes mineros mediante la aplicación de sistemas filtrantes de carbón activado y zeolita, es viable técnica y económicamente y debe ser incluida en el corto plazo como una exigencia ambiental a las plantas de beneficio. Las propiedades más importantes a resaltar dentro del carbón activado para la remoción de metales pesados son (UPME, 2007[300]):

- Capacidad de adsorción
- Velocidad de adsorción

[298] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 5)
[299] Ibíd.
[300] MINMINAS, UPME. Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras sustancias. 2007

- Resistencia mecánica
- Características reactivas
- Distribución granulométrica

De acuerdo a las investigaciones, los carbones activados producidos de concha de coco son utilizados para la recuperación de metales preciosos y la remoción de metales pesados.

Teniendo en cuenta esta estrategia se debe tener cuidado con el mantenimiento realizado, ya que en el caso que estos filtros tengan una colmatación son capaces de liberar los contaminantes previamente retenidos, aportando mayores concentraciones de ellos en el vertimiento.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**: Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser reparados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento. (Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de Junio de 2014[301].

- **Gestión del riesgo de vertimientos:** Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones. (Agencia Nacional de Minería, (2014)[302].

3.2.1.4. Distrito minero de Marmato (Caldas)

De las 10 UPM visitadas en el distrito minero de Marmato, 7 (más exactamente las que se encuentran ubicadas en el municipio que da el nombre a este distrito), generan dos tipos de vertimientos, resultado del proceso de beneficio del mineral, uno de manera

[301] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de Junio de 2014
[302] Agencia Nacional de Minería, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9

diaria, que es el producido por los procesos de trituración, molienda, concentración y el otro producido semanalmente por el proceso del lavado de los tanques de cianuración. Las UPM restantes no realizan proceso de cianuración, es por ello que solo producen el vertimiento que se generan en el beneficio del mineral.
Se evidencio que algunas de estas UPM cuentan con al menos un tratamiento para mejorar la calidad de estos vertimientos, otras lo vierten o disponen sin ningún tipo de tratamiento a una fuente superficial (quebradas) o a otra UPM para que sea utilizado como fuente de abastecimiento para el proceso de beneficio y en la mayoría de los casos los vertimientos son tratados en pozos para sedimentar las arenas y el agua generada en este vertimiento es reutilizada en el proceso de la UPM.

A continuación se realiza una breve descripción del vertimiento generado, de los tratamientos que estos reciben en cada UPM visitada y las estrategias para mejor la calidad de los mismos, que de manera individual se proponen para aplicar.

a. UPM 17442O01:

La UPM 17442O01 genera un vertimiento diario del proceso de beneficio del mineral, este se almacena en un pozo de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y reutilizar el agua en el proceso; esta UPM realiza también un vertimiento semanal producto del lavado de los tanques de cianuración, el cual recibe un tratamiento con peróxido de hidrogeno y Cal para trata de neutralizar el agua, una vez tratado este vertimiento es dirigido a otra UPM para utilizarlo en su proceso de beneficio.

- **Neutralización de vertimientos**: Efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia[303]. La UPM 1744201 tiene un pH por debajo del límite establecido por la norma, por la anterior se propone monitorear y realizar estudios fisicoquímicos de manera periódica, con el fin de establecer si el sistema de tratamiento que se le está dando (peróxido y cal), está actuando de manera efectiva, las variables por las cuales este sistema no funcione, pueden ser muchas, entre ellas que no sean estas las sustancias indicadas para neutralizar este vertimiento o que la cantidad suministrada no sea la adecuada y necesaria para este fin.

[303] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón; implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.
  Las aguas que generalmente entran al socavón por la bocamina, son las aguas pluviales, por no tener un sistema de captación y evacuación adecuado, se propone proteger la bocamina para evitar el acceso de estas aguas, instalando techos o canales, o diseñar y construir el sistema de recolección y evacuación más conveniente, para impedir su contaminación.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: se recomienda realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Tratamiento de aguas domesticas**: El tratamiento para las aguas domesticas estará compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico, la UPM 17442O01 genera un vertimiento de aguas domesticas producido por el lavado de manos, lavado de utensilio de cocinas y el uso del baño; este vertimiento es mezclado con el vertimiento generado de los procesos de beneficio del mineral.

  Se sugiere, en primera instancia no mezclar los vertimientos, realizar tratamientos por separado e instalar al menos un sistema de tratamiento de los dos anteriormente mencionados.

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles**: Instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo[304]. La UPM 17442O01, no cuenta con un botadero de estériles, esta los dispone a un costado de la planta de beneficio directamente al suelo; se le sugiere diseñar y construir un botadero que contenga un sistema para el manejo de aguas que puedan entrar en contacto con este material.

[304] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm #24

b. UPM 17442O08:

La UPM 17442O08 genera un vertimiento diario del proceso de beneficio del mineral, este se almacena en un pozo de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y someterlas al proceso de cianuración y conducir el agua a otra UPM para su proceso de beneficio; la UPM 17442O08, realiza también un vertimiento semanal producto del lavado del material (arenas) a cianurar y de los tanques de cianuración, este no recibe ningún tratamiento y se conduce de manera directa a la quebrada Pantanos.

- **Neutralización de vertimientos**: Efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia[305]. La UPM 17442O08 tiene un pH por debajo del límite establecido por la norma, por la anterior se propone monitorear y realizar estudios fisicoquímicos de manera periódica, con el fin de establecer el sistema de tratamiento más adecuado para neutralizar dicho vertimiento, el tratamiento más común utilizado, es la aplicación de peróxido de hidrogeno y Cal.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- Las aguas que generalmente entran al socavón por la bocamina, son las aguas pluviales, por no tener un sistema de captación y evacuación adecuado, se propone proteger la bocamina para evitar el acceso de estas aguas, instalando techos o canales, o diseñar y construir el sistema de recolección y evacuación más conveniente, para impedir su contaminación.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: se recomienda realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

[305] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

c. UPM 17614O10:

La UPM 17614O10 genera vertimiento resultado del proceso de beneficio del mineral, este se almacena en un pozo de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y conducir el agua a la quebrada Cristales sin ninguna clase de tratamiento. Las arenas son acumuladas para luego ser trasladadas a otro municipio para el proceso de cianuración.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

  Las aguas que generalmente entran al socavón por la bocamina, son las aguas pluviales, por no tener un sistema de captación y evacuación adecuado, se propone proteger la bocamina para evitar el acceso de estas aguas, instalando techos o canales, o diseñar y construir el sistema de recolección y evacuación más conveniente, para impedir su contaminación.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: se recomienda realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles**: Instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo[306]. La UPM 17614O10, no cuenta con un botadero de estériles, esta los dispone a un costado de la planta de beneficio directamente al suelo; se le sugiere diseñar y construir un botadero que contenga un sistema para el manejo de aguas que puedan entrar en contacto con este material.

[306] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm #24

d. Las UPM 17442O02, 17442O04, 17614O06 Y 17614O07:

Las UPM 17442O02, 17614O06 y 17614O07 generan vertimientos resultado del proceso de beneficio del mineral, estos se almacenan en un pozos de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y conducir el agua, en el caso de 17442O02 y 17614O06 a la reutilización en su proceso y en el caso de villa rica a la quebrada San Sebastián sin ninguna clase de tratamiento. Las arenas son acumuladas para luego trasladarlas a otro municipio para el proceso de cianuración.

La UPM 17442O04 genera un vertimiento diario del proceso de beneficio del mineral, este se almacena en un pozo de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y reutilizar el agua en el proceso; esta UPM realiza también un vertimiento semanal producto del lavado de los tanques de cianuración, el cual recibe un tratamiento con peróxido de hidrogeno y Cal para trata de neutralizar el agua, una vez tratado este vertimiento es dirigido a otra UPM para utilizarlo en su proceso de beneficio

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** En explotación subterránea, evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón, implementando obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

  Las aguas que generalmente entran al socavón por la bocamina, son las aguas pluviales, por no tener un sistema de captación y evacuación adecuado, se propone proteger la bocamina para evitar el acceso de estas aguas, instalando techos o canales, o diseñar y construir el sistema de recolección y evacuación más conveniente, para impedir su contaminación.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías:** se recomienda realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles:** Instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de

infiltrarlo en el suelo[307]. Estas UPM, no cuenta con un botadero de estériles, los disponen directamente al suelo; se le sugiere diseñar y construir un botadero que contenga un sistema para el manejo de aguas que puedan entrar en contacto con este material.

e. Las UPM 17442O03, 17442O05 Y 17442O09:

Las UPM 17442O05 y 17442O09 generan un vertimiento diario del proceso de beneficio del mineral, estos se almacenan en pozos de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y reutilizar el agua en el proceso; estas UPM realizan también un vertimiento semanal producto del lavado de los tanques de cianuración, el cual recibe un tratamiento con Cal para trata de neutralizar el agua, una vez tratado este vertimiento es dirigido a otra UPM para utilizarlo como fuente de agua para su proceso de beneficio.

La UPM 17442O03 genera un vertimiento diario del proceso de beneficio del mineral, este se almacena en un pozo de sedimentación artesanal, para sedimentar las arenas y acumularlas para el proceso de cianuración, además esta UPM realiza también un vertimiento semanal producto del lavado de los tanques de cianuración, el cual recibe un tratamiento con Cal para trata de neutralizar el agua, una vez tratado este vertimiento y el vertimiento generado del pozo de sedimentación son dirigido a la quebrada San Jorge.

f. Propuestas Generales

Adicional a estas propuestas de estrategias para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua, en cada una de las minas visitadas; se sugiere implementar las siguientes en todas las UPM:

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes:** En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides

[307] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm #24

en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc[308]

En la siguiente tabla se encuentra de manera detallada los metales y metaloides encontrados en cada UPM que sobre pasan los límites permisibles establecidos en la normas, específicamente en la resolución 631 de 2015.

Tabla 171. Metales pesados que superan los LMP en cada una de las UPM del Distrito minero de Marmato

UPM	Metales encontrados en los vertimientos					
	Arsenico	Cadmio	Hierro	Plomo	Zinc	Cobre
17442O01		X	X	X	X	
17442O02		X	X			
17442O08		X	X	X	X	
17614O07						
17614O06			X			
17442O04						
17442O03	X	X	X	X	X	X
17442O05		X	X	X		

Por lo anterior se sugieren los siguientes sistemas de tratamiento:

Precipitación química: La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[309]. Este método es empleado para la eliminación de los siguientes metales pesados: Cromo, Hierro, Mercurio, Cadmio y Plomo.

[308] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6
[309] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[310].

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.

Humedales artificiales: Los humedales construidos se han clasificado en dos tipos, humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial.

- **Humedales artificiales de flujo superficial**

  En un humedal artificial de flujo superficial, la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, y su profundidad varía entre 1 y 4.5 metros. Este tipo de sistemas consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos de estos sistemas se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos[311] (Crites, 2000).

- **Humedales artificiales de flujo subsuperficial**

  Humedales de flujo horizontal: En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad de agua es de entre 0,3 y 0,9 m. se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo

[310] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 23)
[311] Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 2, Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Bogotá.

de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m^2.dia[312]. (García, J., Corzo, A., 2008).

Humedales de flujo vertical: Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno[313]. (García, J., Corzo, A., 2008)

Carbón activado: Como parte de la estrategia de cerrar el ciclo de beneficio dentro del proceso minero, se ha desarrollado una experiencia positiva en la fijación de metales pesados liberados durante el proceso de molienda y separación, consistente en la construcción de una batería de columnas homogéneas de carbón activado con las cuales se han obtenido remociones superiores al 90% de elementos metálicos como mercurio, plomo, zinc, etc. Las pruebas realizadas hasta la fecha parten de las propiedades físicas químicas del carbón activado como medio de fijación de iones positivos de diferente origen La implementación de sistemas de fijación de metales pesados contenidos en efluentes mineros mediante la aplicación de sistemas filtrantes de carbón activado y zeolita, es viable técnica y económicamente y debe ser incluida en el corto plazo como una exigencia ambiental a las plantas de beneficio. Las propiedades más importantes a resaltar dentro del carbón activado para la remoción de metales pesados son (UPME, 2007[314]):

- Capacidad de adsorción
- Velocidad de adsorción
- Resistencia mecánica
- Características reactivas
- Distribución granulométrica

De acuerdo a las investigaciones, los carbones activados producidos de concha de coco son utilizados para la recuperación de metales preciosos y la remoción de metales pesados.

[312] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 5)
[313] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. (p. 8)
[314] MINMINAS, UPME. Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras sustancias. 2007

Teniendo en cuenta esta estrategia se debe tener cuidado con el mantenimiento realizado, ya que en el caso que estos filtros tengan una colmatación son capaces de liberar los contaminantes previamente retenidos, aportando mayores concentraciones de ellos en el vertimiento.

- **Control de vertimientos:** Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP[315], controlando el estado de las aguas de escorrentía e infiltración que se bombean de la mina y su lugar de desagüe final, implementando sistemas de tratamiento de acuerdo a las condiciones del vertimiento y mejorar el diseño de las pozas de relave para obtener posiblemente un nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando lagunas o piscinas de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos.

- **Prevención de drenaje acido de mina:** Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el “balance” que se puede dar en el desecho[316]

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental:** Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

[315] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5
[316] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26.

- **Homogenización de caudales de descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.
- **Manejo y recuperación de aguas pluviales**: Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural y canalización de los techos con el fin de evitar su contaminación[317].

- **Metas de reducción de carga contaminantes**: Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos:** Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser reparados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[318].

- **Gestión del riesgo de vertimientos:** Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[319].

[317] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24
[318] FEDESARROLLO Y SECTOR DE LA MINERIA DE GRAN ESCALA. MINERIA Y MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA. BOGOTA, 18 DE JUNIO DE 2014.
[319] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9.

3.2.1.5. Distrito minero de Istmina (Choco)

Basado en sus características en los vertimientos, tipo de explotación y beneficio, operaciones unitarias utilizadas y características en las descargas, se agruparon las UPM visitadas, que son las de explotación a través de dragas de succión y las de excavadora–retroexcavadora. A los cuales se e realizaran una serie de propuesta de estrategias para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua

a. Grupo 1.

Este grupo contempla las UPM por excavadora- retroexcavadora y contempla las 27205O01, 27491O02 y 27491O03.

UPM 27205O01. El vertimiento de la UPM se caracteriza por presentar gran cantidad de solidos suspendidos, solidos disueltos y turbidez, además de la presencia de diferentes metales como Cadmio, hierro, plomo y cobre. Los efluentes de tipo industrial producidos en el proceso de beneficio son transportados a través de tubería a un pozo de sedimentación donde posteriormente son descargados a la quebrada los negros que posteriormente llega al rio Condoto.

UPM 27491O02. Los efluentes mineros generados en la UPM tienen como característica, al igual que la UPM anterior, la presencia de solidos suspendidos, solidos disueltos y turbidez, además de la presencia de diferentes metales como Cadmio, hierro, plomo y cobre. En ella los efluentes tienen como sistema de tratamiento un pozo sedimentador donde llegan las aguas residuales generadas en el procesos para luego ser vertidas a la quebrada aguas claras, que desemboca en el rio Tamana y este a su vez en el san juan.

UPM 27491O03. Las aguas residuales originas en el proceso de beneficio de la UPM son enviadas como a un jagüey o pozo sedimentador, y tienen presencia de solidos suspendidos, solidos disueltos y turbidez. Una vez pasado por el pozo para sedimentar los efluentes son enviados a la quebrada aguas clara, y posteriormente al rio Tamana y luego al san juan.

Debido a que las características y tipo de contaminantes presentes en los efluentes mineros permanece constante, a continuación se proponen algunas estrategias generales para mejorar los vertimientos de las UPM visitadas, teniendo en cuenta que en ellas se practica minería de subsistencia, por lo que las recomendaciones propuestas serán de eficientes y de bajo costo.

- **Prevención de drenaje acido de mina:** Los análisis del proyecto minero deben incluir estudios metalúrgicos y mineralógicos, además de un estudio de difracción de rayos x (DRX), para conocer los minerales asociados a los depósitos.

  Adicional se deberá hacer pruebas de laboratorio para conocer si se está produciendo drenaje acido en los depósitos y su capacidad neutralizante. En caso de presentarse drenaje ácido y un potencial neutralizante bajo en la mina, se recomienda instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, utilizando canales de desagüe para evitar su infiltración en el suelo o contacto con fuentes hídricas, y posteriormente enviarlos al PTAR industriales antes de ser vertidas a un cuerpo de agua[320].

- **Control de vertimientos:** Los efluentes provenientes de las actividades realizas en la etapa de beneficio de las UPM visitadas en Choco son enviados a una pozas de sedimentación para reducir la concentración de sólidos suspendidos, disueltos, y otros contaminantes cercanos a de los Límites Máximos Permisibles (LMP) (Agencia de Cooperación Alemana- Giz, 2014[321]). Sin embargo se necesita un sistema más eficiente para la remoción de estos y otros contaminantes como, metales, ya que las mayores pérdidas son por filtración, evaporación y retención e implementando pozo o jaguey de sedimentación como sistemas de tratamiento final de los vertimientos. Así mismo, se tuvo en cuenta los volúmenes de agua, frecuencia y caudal mínimos que suplan las necesidades de los proyectos mineros. Para facilitar la adopción de procedimientos y tecnologías de mitigación de impactos del recurso hídrico, se pueden seguir varios caminos, basados en los criterios de calidad de agua de los vertimientos de origen minero establecidos en la resolución 0631 de 2015, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente.

  Para las UPM por excavadoras- retroexcavadoras, el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales estará compuesto de los siguientes sistemas.

  - **Desarenador.** El material de explotación y beneficio presente en la zona se caracteriza por los altos contenidos de arenas negras que actualmente llegan a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento. Este sistema de desarenador pretende eliminar las arenas presentes en las aguas originadas en el proceso de

[320] Ministerio del Medio Ambiente. 1998. Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24
[321] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ, 2014. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 5.

clasificaciones. Estos contenidos son más fáciles de reducir si se incrementa el tiempo de retención de este sistema.

- **Floculación.** El sistema de flotación se utiliza para ayudar a la reducción de las partículas suspendidas presentes en los efluentes mineros. Los floculantes (polímeros sintéticos) pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, sulfato de cobre y sulfato de zinc. La mayoría de los reactivos de flotación existen en formas no tóxicas para los humanos y la vida acuática. Generalmente se aplican en pequeñas concentraciones; los reactivos orgánicos de flotación se descomponen rápidamente y son rara vez responsables de algún impacto ambiental serio (Gobierno de peru.)[322].

- **Sedimentador.** En las explotaciones mineras visitadas, las técnicas mineras que se aplican consumen, procesan y liberan sedimentos en los lechos y las riberas consolidadas de los cuerpos de agua colindantes a las UPM., por lo que lo que se recomienda es la impermeabilización del pozo sedimentador para evitar infiltraciones de las aguas subterráneas. Los sedimentos en forma de partículas gruesas y las rocas intercaladas que se desprenden del material de beneficio se redistribuyen como pilas de colas in situ, en tanto que las partículas de arcilla, limo y carbono quedan suspendidas en la columna de agua, donde además se presenta una turbidez elevada en las minas auríferas visitadas[323]. Estos sedimentadores pueden ser pozos o lagunas impermeabilizadas cuya condición principal es tener una baja velocidad de flujo que permita la sedimentación (Agencia de Coperación Alemana- GIZ. 2014)[324].

Para las aguas de escorrentía, con presencia de grasas, aceites y trazas de combustible, se recomienda que el piso en áreas donde se almacenen combustibles y lubricantes, así como en sitios donde se realice reparación de maquinaria y equipo que necesite lubricantes o combustibles debe estar en concreto o cubierto con un material impermeable y con una cuneta perimetral en concreto o en material impermeable, ésta debe estar conectada al sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales industriales.

[322] Gobierno de peru. (s.f.). Minem. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50?jjsrzfumynkbzriq?gdeihvxbceiqgdxl
[323] Véase, por ejemplo, Mol y Ouboter, 2004; Brosse et al., 2011. 14 Davies-Colley et al., 1992.
[324] Agencia de Cooperación Alemana- Giz. 2014. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6.

Tanto las aguas residuales de cada taller como las aguas lluvias y de escorrentía de este sector serán interceptadas y pasadas por la trampa de grasas, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlas en el suelo deben ser interceptadas y conducidas a sistemas de tratamiento mediante canales hechos en tierra impermeabilizados para finalmente ser entregadas a los sedimentadores. Los sitios donde se almacenen escorias y otros residuos industriales minerales contarán con sistemas de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos.

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental:** Realizar periódicamente y remitir a CODECHOCO los monitores de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 631 de 2015.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías:** realizar mantenimientos y monitores de la tubería, en caso de ser necesario se deberá remplazar o mejorar el estado de las tuberías de captación, distribución y descarga de aguas, para evitar pérdidas por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo.

- **Homogenización de caudales de descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal en línea, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor. Para diseñarlo se recomienda primero hacer un balance de masas, donde se compara el volumen del afluente a la planta de tratamiento con el volumen de agua promedio horario para tiempo de 24 horas, mediciones de caudal cada hora.

- **Tratamiento de aguas domesticas:** Los campamentos de las UPM del municipio de Novita, Choco, no cuentan con acceso al sistema de alcantarillado municipal o rural, por lo tanto el manejo que se le dará a las aguas residuales domésticas, que tiene lugar en el casino y campamento de los mineros y contemplan los estos efluentes que se originan producto de las actividades humanas dentro del proyecto minero se les recomienda construir un sistema compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

  - Trampa de grasas. La trampa de grasas recibirá el efluente proveniente de lavaderos y cocinas para retener la grasa y lograr que ésta no obstruya los poros del medio filtrante. Su localización será entre la tubería que conduce las aguas de cocina y lavaderos y el tanque séptico.

- Tanque séptico. A él llegarán las aguas servidas de los aparatos sanitarios y lavaderos originados en el casino. Se recomienda el uso de tanques sépticos cilíndricos, construidos en fibra de vidrio, de bajo peso y fácil instalación, que pueden ser removidos en el momento de abandono del sitio o campamento en el cual presta sus servicios. Antes de iniciar la operación del tanque séptico éste será activado con bacterias anaeróbicas. Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones[325]:

  - Se instalarán donde no haya tráfico vehicular dado que las tapas no están diseñadas para soportar el peso de los vehículos.

  - Evitar productos químicos, blanqueadores, desinfectantes, fertilizantes o derivados del petróleo como gasolina, disolventes, aceites, etc. Estas sustancias matarían las bacterias que biodegradan la materia orgánica.

  - El sistema se puede obstruir si se dejan caer en él objetos como bolsas plásticas, papeles, preservativos, toallas higiénicas, trapos, etc.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales:** Teniendo en cuenta que Choco se caracteriza por sus condiciones excepcionales de pluviosidad, las elevadas precipitaciones que se presentan durante todo el año sugieren une especial cuidado para este tipo de aguas dentro de los proyectos mineros para evitar su contaminación y condiciones de baja calidad. Las aguas lluvias tendrán un sistema de manejo independiente que evite su contaminación, y serán dispuestas directamente al ambiente; prioritariamente a través de su control y conducción en lugares críticos como clasificación y zona de taller o mantenimiento de maquinaria, mediante la construcción de estructuras hidráulicas tales como canales de drenaje, diques y pozas de almacenamiento para interceptar, contener y transportar escorrentías pluviales[326].

  - Diques: Se puede utilizar diques alrededor de las instalaciones del proyecto para prevenir deslizamientos de aguas superficiales a las instalaciones e inundación de éstas durante crecidas y/o prevenir la descarga de aguas contaminadas de una

[325] Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura subsector vial. 2011. Coordinación técnica: En INVIAS BLANCA HERNANDEZ PEÑA / Coordinadora Ambiental En Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Segunda Edición.
[326] Ministerio del Medio Ambiente. 1998. Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24)

instalación hacia áreas adyacentes como en el caso de un dique construido alrededor de superficies impermeabilizadas de lixiviación (UPME, 2007)[327].

- Canales de drenaje: Se utilizan para desaguar los frentes de trabajo de explotación y beneficio, y evitar el contacto de las aguas industriales con las aguas lluvias (UPME, 2007)[328].

- Pozos de almacenamiento: Tiene la función de almacenar y evitar el contacto de las aguas lluvias con los demás efluentes mineros, evitando su contaminación (UPME, 2007)[329].

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles**: Instalar en los botaderos de estériles canales de desagüe y diques de contención para evitar el contacto de los lixiviados con aguas lluvias o de otros procesos, en caso de que las aguas de escorrentía hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo deben ser estabilizadas y confinadas (contingencias) preventiva, con la técnica de neutralización con la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia, y posterior mente enviadas al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales. Tenga sé en cuenta que los requerimientos de cal de esta técnica son menos de 0.1 Kg/1000 Litros para aguas con pH entre 3.5 y 5.5

- **Metas de reducción de carga contaminantes:** Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento (primario, secundario y biológico) y sistemas integrados de gestión (uso, demanda, consumo, fuentes, sistemas de tratamiento y vertimiento), ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos por la resolución 0631/15 para vertimientos y para el cuerpo receptor. Se recomienda realizar aforos de caudal regularmente, implementando canaletas parshall o vertederos, que permita conocer la variación y cantidad de recurso utilizada.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**: Los combustibles y reparación de equipos deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo

[327] Producción más limpia en la minería del oro en Colombia mercurio, cianuro y otras sustancias. 2007. Unidad de Planeación Minero Energética UPME.
[328] Producción más limpia en la minería del oro en Colombia mercurio, cianuro y otras sustancias. 2007. Unidad de Planeación Minero Energética UPME.
[329] Ibíd.

de agua fresca, como son las quebradas aguas claras, cercana a las UPM 27491O02 y 27491O03, y los negros cercanas a la UPM 27205O01[330].

El piso en áreas donde se almacenen combustibles y lubricantes, así como en sitios donde se realice reparación de maquinaria y equipo que necesite lubricantes o combustibles debe estar cubierto con un material impermeable, aserrín, tierra o arena, y una cuneta perimetral en concreto o en material impermeable. El material se debe disponer en un relleno de seguridad apropiado con alta capacidad de impermeabilización a más de un metro de profundidad y lejos de los cursos de agua[331].
Las aguas residuales del taller serán interceptadas y pasadas por la trampa de grasas y conectada al sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales industriales, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlas en el suelo[332].

- **Gestión del riesgo de vertimientos:** Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[333]. Esta gestión de riesgo debe incluir planes de acción en caso de derrames, y planes de contingencia y procedimiento en casos de emergencias.

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes:** En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides las UPM visitadas en choco muestran unas concentraciones que superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), a continuación en la siguiente tabla se observan cuales se encuentran en cada UPM:

Tabla 172. Metales pesados de las UPM en el distrito minero de Itsmina

UPM	Metales presentes en los vertimientos				
	Arsénico	Cadmio	Hierro	Cromo	Mercurio
27205O01	X	X	X	X	
27491O02	X	X	X	X	X
27491O03	X	X	X	X	X

[330] Fedesarrollo y sector de la minería de gran escala. 2014. Minería y medio ambiente en Colombia. Bogota.
[331] ECOCARBOÓN. 1995. Control de la Contaminación del Agua en la pequeña minería subterránea del Carbón. Informe de Diagnóstico, versión preliminar, Alvaro Orozco Asociados Ingenieros. Bogotá
[332] Ministerio del Medio Ambiente, Minercol y Ministerio de Minas y Energía. 2001. Guía Ambiental: Carbón Minería Subterránea. Bogotá.
[333] Agencia nacional de minería. 2014. Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9.

Alguno de los sistemas de tratamiento que se proponen para la reducción o eliminación de estos contaminantes en las aguas residuales industriales de las UPM son,

Precipitación química. La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[334]. Este método es empleado para la eliminación de los siguientes metales pesados: Cromo, Hierro, Mercurio, Cadmio y Plomo.

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[335].

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.

Humedales artificiales. Los metales encontrados en los efluentes mineros están asociados al oro y presentes en los depósitos disminuyendo la calidad de las aguas generadas en el proceso. Un sistema eficiente, sustentable y de bajo costo de operación y mantenimiento son los humedales artificiales. Estos son sistemas no convencionales, de ingeniería y fitodepuración, que consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas y emergente, y vida animal acuática

[334] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)
[335] Ibíd.

(microorganismos), sobre un lecho de grava impermeabilizado en diferentes condiciones ambientales, como luz solar y temperatura, para el tratamiento de aguas residuales[336]. A través del lecho de grava, que actúa como filtro, se termina de eliminar el material suspendido y disuelto presente en el agua, mientras que los otros contaminantes son eliminados a través de la relación simbiótica que se da entre planta – microorganismos. Estos sistemas también son útiles para la eliminación de metales como el mercurio e hidrocarburos.

Carbón activado. Como parte de la estrategia de cerrar el ciclo de beneficio dentro del proceso minero, se ha desarrollado una experiencia positiva en la fijación de metales pesados liberados durante el proceso de molienda y separación, consistente en la construcción de una batería de columnas homogéneas de carbón activado con las cuales se han obtenido remociones superiores al 90% de elementos metálicos como mercurio, plomo, zinc, etc. Las pruebas realizadas hasta la fecha parten de las propiedades físicas químicas del carbón activado como medio de fijación de iones positivos de diferente origen La implementación de sistemas de fijación de metales pesados contenidos en efluentes mineros mediante la aplicación de sistemas filtrantes de carbón activado y zeolita, es viable técnica y económicamente y debe ser incluida en el corto plazo como una exigencia ambiental a las plantas de beneficio. Las propiedades más importantes a resaltar dentro del carbón activado para la remoción de metales pesados son (UPME, 2007):

- Capacidad de adsorción
- Velocidad de adsorción
- Resistencia mecánica
- Características reactivas
- Distribución granulométrica

De acuerdo a las investigaciones, los carbones activados producidos de concha de coco son utilizados para la recuperación de metales preciosos y la remoción de metales pesados.

Teniendo en cuenta esta estrategia se debe tener cuidado con el mantenimiento realizado, ya que en el caso que estos filtros tengan una colmatación son capaces

[336] García, J., Corzo, A., 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya.

de liberar los contaminantes previamente retenidos, aportando mayores concentraciones de ellos en el vertimiento.

b. Grupo 2.

En el grupo 2 está compuesto por 3 Dragas de succión, 27600O04, 27600O05 y 27600O06, para las cuales no se plantean mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua por su práctica ilegal, excepto el de cambiar el lugar de explotación para poder evitar la contaminación e impacto sobre el recurso hídrico.

Ilustración 52. Vertimiento UPM 27600O06

3.2.2. Minería de Carbón

3.2.2.1. Distrito minero de Zipa - Samaca

Estas UPM se caracterizan por ser subterráneas, el común denominador es estas es que para continuar con las labores extractivas de carbón deben impulsar a superficie las aguas almacenadas en el fondo del socavón. Debido a las características fisicoquímicas del agua de mina, deben ser tratadas antes de ser vertidas a un cuerpo de agua, suelo u otro cuerpo receptor.

Se plantearán estrategias generales para todas las minas y particulares, estas estarán encaminadas a reducir la carga contaminante de los vertimientos sobre los cuerpos de agua, suelo u otro cuerpo receptor. La aplicación de estas estrategias por parte de una UPM deberá garantizar la reducción de contaminantes en el vertimiento, ya sea evitando

la posible contaminación de las aguas de minas o implementando sistemas de tratamiento adecuados para el mejorar las condiciones del vertimiento.

a. UPM 25317C09:

Actualmente no realiza vertimiento directo sobre cuerpos de aguas, sin embargo las aguas de mina una vez extraídas desde el fondo del socavón son utilizadas en humectar el carbón mediante el riego del patio de acopio, previamente tratadas por sedimentadores. La demanda por humectación de esta mina es de 918 m^3 y vierte sobre dos lagunas el agua de mina que no es utilizada para humectar el patio de acopio de carbón. Desde las lagunas estas aguas son impulsadas (bombeadas) hasta una planta de coquización para el enfriamiento de las calderas de coquización. La posible afectación por estas aguas de mina sería sobre el suelo, mediante infiltraciones del agua de mina desde las lagunas en terreno natural (permeables) y desde el patio de acopio donde el carbón está en contacto directo con el suelo descubierto.

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La UPM 25317C09 aunque actualmente cuenta con una unidad hidráulica dividida en tres sedimentadores, se recomienda que de acuerdo a lo establecido por la agencia de cooperación alemanda, “Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP”[337]. Aunque cuenta con unidades de sedimentación, se recomienda que estas unidades de tratamiento sean diseñadas de acuerdo a las condiciones del vertimiento, ya que de acuerdo a lo observado en campo, estas unidades funcionan como unidades de almacenamiento de las aguas de minas para ser aprovechadas para la humectación del carbón y no como sistema de tratamiento debido al tamaño de la unidad sedimentadora, tiene corto tiempo de retención hidráulica, lo que cual refleja poco tiempo para la sedimentación para las partículas suspendidas en el agua de mina. Adicionalmente, se recomienda impermeabilizar las dos lagunas de sedimentación, para evitar el contacto de las aguas de minas con el suelo descubierto.

- **Sistema de reutilización de agua para humectación del carbón**. Actualmente la mina cuenta con un patio de acopio para el carbón extraído, sin embargo se encuentra

[337] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).

sobre suelo descubierto y no cuenta con canales perimetrales para la recolección y reutilización en la humectación, por tal razón, se recomienda el diseño, construcción y puesta en marcha de un patio de acopio de suelo impermeable, con canales perimetrales y sistema de tratamiento y recirculación, la implementación permitirá la reutilización del agua para volver a humectar el carbón.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. El taller de mantenimiento de la maquinaria, donde se les realiza mantenimiento al tren de carga, se encuentra con maquinaria en suelo descubierto con posible contaminación del suelo por presencia de aceites y grasas, es por ello que se recomienda almacenar como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser separados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[338].

b. UPM 25317C07:

Las aguas de mina de esta UPM son tratadas mediante 3 unidades de sedimentación y una laguna en terreno natural, que vierte las aguas de mina sobre el suelo, demanda para humectar el patio de tolvas 102,75 m^3 mensuales. Las estrategias particulares están encaminadas a mejorar el sistema de tratamiento, patio de acopio de estériles y prevención en la generación de residuos peligrosos.

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** Actualmente la upm cuenta con tres sedimentadores y una laguna permeable (suelo descubierto), se recomienda que de acuerdo a lo establecido por la agencia de cooperación alemanda, “Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP”[339]. Aunque cuenta con unidades de sedimentación, se propone rediseñar la laguna de sedimentación que recibe las aguas de los sedimentadores, ya que las aguas de minas no deben

[338] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.
[339] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).

estar en contacto directo con el suelo, por tal razón sería conveniente para evitar la contaminación del suelo o subsuelo, diseñar de acuerdo a las condiciones del vertimiento las unidades de tratamiento, para mejorar las características fisicoquímicas de la descarga sobre el suelo.

Adicionalmente, se recomienda que se capte el agua de mina a partir del tercer sedimentador para la supresión del polvo en el patio de tolvas, ya que actualmente es captada desde el primer sedimentador (recepción de caudal) y el agua de mina hasta esa instancia aún se encuentra con material en suspensión y contaminantes, debido a que solo ha sido tratada por unidad de recepción de caudales, y la tubería de alimentación (descarga) para la humectación se encuentra en el lecho de la unidad de tratamiento.

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles.** En el predio de la mina, se depositan los estériles, este patio no cuenta con sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, debido a que la quebrada Agrasal se encuentra cerca de la mina se puede verter al cuerpo de agua o infiltrarse en el suelo[340] estas aguas que pueden estar contaminadas, de acuerdo a las características del manto rocoso. Se recomienda que la UPM diseñe e implemente un patio de acopio con características de impermeabilidad, recolección de aguas lixiviadas y sean tratadas por las unidades de sedimentación de la mina.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. El taller donde se almacenan los aceites y combustibles se encuentra a más de 100 metros de un cuerpo de agua, se recomienda ser rediseñado, debido a que no cuenta con las características para prevenir un posible derrame estas sustancias y pueda generar contaminación por la entrada de aguas pluviales con estos residuos de grasas y aceites. Además, se propone implementar diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[341].

[340] Ministerio del Medio Ambiente. (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24)
[341] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.

c. UPM 25317C06:

La UPM para tratar las aguas de minas cuenta con 2 tanques de capacidad de 2 m^3, estos tanques hacen las funciones de reguladores de caudal al sistema, mediante el uso de tubería en ziczac como disipadora de energía, alimenta a tres sedimentadores (lecho en roca caliza) y dos tanques de 2 m^3 cada uno, los cuales actúan como filtros (están llenos de arena), los cuales vierten sobre la quebrada La toma.

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Prevención de contaminación de las aguas de mina.** La mina cuenta con 2 socavones deberá evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que aunque las bocaminas se encuentran techadas, no tienen suficiente área de cobertura generando posible ingreso de aguas pluviales, además estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. Se recomienda que la UPM 25317C06 implemente obras de ajuste de pendiente del terreno en la bocamina, para evitar que el drenaje actual permita la entrada de aguas desde el exterior hacia el socavón.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. El taller – almacén de grasas, aceites y combustibles, donde se almacenan los aceites y combustibles se encuentra a menos de 100 metros de la quebrada La toma, y el suelo se encuentra impregnado con residuos de grasas y aceites, por tal motivo se recomienda que la UPM 25317C06 rediseñe, evitando la posible contaminación de las aguas pluviales con estos residuos de grasas y aceites. Además, se deben implementar diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[342].

d. UPM 25407C05:

La UPM cuenta con dos sistemas de tratamiento y dos socavones independientes para las aguas de minas, vierte sobre depósitos en terreno natural (lagunas de sedimentación). Los sistemas de tratamiento constan de sedimentadores y lechos en roca caliza. Sin

[342] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.

embargo las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas por esta UPM:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta con tres sedimentadores para el socavón 2 y una unidad de sedimentación y una laguna permeable para el socavón 1 (suelo descubierto), se recomienda que de acuerdo a lo establecido por la agencia de cooperación alemanda, "Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP"[343]. Aunque cuenta con unidades de sedimentación, se recomienda rediseñar la laguna de sedimentación o reservorio que recibe las aguas de los sedimentadores, ya que las aguas de minas no deben estar en contacto directo con el suelo, se propone que se diseñen de acuerdo a las condiciones del vertimiento, para mejorar las características fisicoquímicas y evitar infiltración en el suelo, impermeabilizando las lagunas de sedimentación.

- **Prevención de contaminación de las aguas de mina**. Uno de los socavones de la UPM puede evitar la posible entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, implementando unidades de techado de mayor área, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. Por lo anterior, se recomienda que la UPM Implemente obras de techado y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. El manejo de grasas, aceites y combustibles, no es el adecuado ya que se evidenció que el suelo se encuentra impregnado con residuos de grasas y aceites, por tal motivo se recomienda que la UPM 25407C05 rediseñe, evitando la posible contaminación de las aguas pluviales con estos residuos de grasas y aceites. Además, se deben implementar diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[344].

[343] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).
[344] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.

e. UPM 25224C03:

La UPM cuenta con un sistema de tratamiento que consta de un tanque sedimentador de recepción de caudal, se encarga de regular el caudal para suministrarlo a cuatro sedimentadores en serie, desde los cuales se realiza la descarga de aguas de minas, se realiza humectación del patio de acopio utilizando el agua de mina, mensualmente se usan 237,6 m^3. Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas por esta UPM:

- **Sistema de reutilización de agua para humectación del carbón.** El patio de acopio actual de esta UPM está en contacto directo con el suelo, generando una posible contaminación del suelo o subsuelo, es por ello que se recomienda que esta UPM diseñe, construya e implemente un patio de acopio de suelo impermeable, con canales perimetrales y sistema de tratamiento y recirculación que permita la reutilización del agua en la humectación del carbón (en caso de que se requiera) y riego de vías (supresión de polvos), evitando la posible afectación del suelo y cuerpos de agua.

f. UPM 25224C02:

Actualmente tiene dos sedimentadores en serie que reciben el caudal de las aguas de mina, la segunda unidad sedimentaria distribuye el agua de mina tratada para el riego de cultivos y para la sedimentación mediante laguna (reservorio) en terreno natural, se vierte el volumen de agua de mina por el desborde de la laguna sobre el suelo. Se recomienda rediseñar el sistema de tratamiento de aguas de mina.

La siguiente estrategia busca garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta con una laguna permeable (en suelo descubierto), se recomienda que de acuerdo a lo establecido por la agencia de cooperación alemanda, “Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y

de otros contaminantes por debajo de los LMP"[345]. Aunque cuenta con unidades de sedimentación, se recomienda rediseñar la laguna de sedimentación o reservorio que recibe las aguas de los sedimentadores, ya que las aguas de minas no deben estar en contacto directo con el suelo, es decir deben ser impermeables, por tal razón el rediseño de acuerdo a las condiciones del vertimiento, mejorará las características fisicoquímicas y evitar infiltración en el suelo.

g. UPM 25224C01:

Actualmente cuenta con dos lagunas de sedimentación (reservorio) en terreno natural, desde las cuales se vierte el agua de mina por rebose hacia el suelo. La siguiente estrategia busca garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta con dos lagunas permeables de sedimentación (suelo descubierto), se recomienda que de acuerdo a lo establecido por la agencia de cooperación alemanda, "Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP"[346]. Aunque, se evidencia remoción de contaminantes en la descarga mediante operación de las lagunas de sedimentación, el agua de mina está en contacto directo con el suelo, lo cual puede generar contaminación del suelo o el subsuelo, es decir, es necesario la impermeabilización del lecho y paredes de las lagunas, mediante el uso de Geotextil y Geomembrana, previamente termo selladas, por tal razón se deberán diseñar de acuerdo a las condiciones del vertimiento, para mejorar las características fisicoquímicas y evitar infiltración en el suelo.

h. UPM 25407C04:

La mina cuenta con un socavón y dos sistemas de tratamiento independientes para las aguas extraídas desde diferentes niveles, uno de los sistemas de tratamiento cuenta con 5 sedimentadores en lechos de roca caliza, el segundo sistema de tratamiento consta de 3 sedimentadores con lecho de roca caliza, que vierte el agua de mina sobre la quebrada Cajón.

[345] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).
[346] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta unidades de sedimentación con lechos en roca caliza, no obstante, de acuerdo al volumen de agua vertido por unidad de tiempo, se evidenció que las unidades de sedimentación tiene poco tiempo de retención de las aguas impulsadas desde el interior del socavón y de acuerdo a lo establecido por la Agencia de cooperación alemana, "Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP"[347]. Por lo anterior se recomienda diseñar unidades de sedimentación y precipitación química acordes a las condiciones del vertimiento, para mejorar las características fisicoquímicas y evitar infiltración en el suelo.

- **Prevención de contaminación de las aguas de mina**. El socavón de la UPM de acuerdo al techado actual, durante eventos de precipitación puede generar la entrada de estas aguas al fondo del socavón, para evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, se recomienda que la UPM Implemente obras de techado de mayor área y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. En cuanto manejo de grasas, aceites y combustibles en la mina se recomienda que se diseñe, construya e implemente un sistema de trampas de grasas y aceites en el sitio de manejo de estas sustancias, ya que la ausencia de este sistema permite el contacto directo del suelo y el agua sobre los contaminantes de hidrocarburos. Adicionalmente se propone la implementación de diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos[348].

[347] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).
[348] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.

i. UPM 15646C02:

Esta UPM cuenta con 3 unidades de sedimentación y uso de escaleras invertidas para verter sus aguas de mina sobre la quebrada los Ajos. Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta unidades de sedimentación, sin embargo al momento de la visita el sistema de tratamiento no estaba en funcionamiento, y la descarga de las aguas de mina era directa sobre el suelo. De acuerdo a lo establecido por la Agencia de cooperación alemana, "Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP"[349]. Por lo anterior se recomienda implementar el uso de las unidades de sedimentación actuales, para mejorar las características fisicoquímicas y evitar infiltración en el suelo.

- **Prevención de contaminación de las aguas de mina**. Los socavones de la UPM, no cuentan con estructuras de techado y permiten la entrada de aguas pluviales, además la pendiente del terreno permite considerablemente la entrada de agua desde el socavón para las aguas de escorrentía, debido a la pendiente que se tiene para la salida del malacate. Se recomienda evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. Por lo anterior, se recomienda que la UPM implemente obras de techado de mayor área y ajuste de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. El manejo de grasas, aceites y combustibles, no es el adecuado ya que no se cuenta con las locaciones necesarias para almacenar y tratar este tipo de sustancias que pueden generar contaminación del suelo, cuerpos de agua u otro cuerpo receptor, se recomienda la construcción de un sitio de almacenamiento diseñado para tal fin, la mina actualmente deberá evitar la posible contaminación de las aguas pluviales con estos residuos de grasas y aceites. Además, de que se implementen diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Al finalizar las

[349] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).

estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[350].

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes.** De acuerdo a los resultados de laboratorio obtenidos, el vertimiento de la mina presenta valores de mercurio superiores al límite máximo permisible establecido en la Resolución 631 de 2015 (0.0232 mg/L de Hg), sin embargo este valor de concentración obedece a que las aguas de minas estaban siendo vertidas sin previo tratamiento, es decir descarga directa desde el socavón. Se recomienda la implementación de la batería actual de sedimentadores para sedimentar el mercurio presente en el agua. Adicionalmente, en caso de que las concentraciones de mercurio en el agua de mina persistan por encima del LMP se propone la precipitación química como un método efectivo para sedimentar el mercurio del agua de mina.

  Método de precipitación química: La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) o cal (CaO), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos[351].

  Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso[352].

  De acuerdo con Izquierdo (2010), la mezcla rápida favorecerá el contacto del coagulantecon el agua de mina, una vez se haga la mezcla se deberá tratar el agua en sedimentadores para favorecer la formación de flóculos (floculación). Para le mezcla rápida, se recomienda el uso de resaltos hidráulicos, cambios fuertes en el nivel del agua o tanques de igualación de caudales con caídas de agua.

[350] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.
[351] Eliminación de Metales Pesados en Aguas Mediante Bioadsorción. Evaluación de Materiales y Modelación del Proceso. (2010). Marta Izquierdo Sanchis. Universidad de Valencia. España. (p. 22)
[352] Ibíd.

Adicionalmente, se pueden usar otros coagulantes de mayor eficiencia, como el Cloruro férrico ($FeCl_3$) y Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y con menor eficiencia como el Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Las ventajas de la precipitación química radica en su bajo costo de inversión, operación sencilla y las desventajas son la generación de lodos y el posterior tratamiento de estos lodos.

Tabla 173. Metales presentes en los vertimientos del distrito minero Zipa-Samacá.

UPM	Metales Pesados	
	Mercurio (Hg)	Hierro (Fe)
15600C01	X	
15646C02	x	X

j. UPM 15600C01:

Para el tratamiento de las aguas de mina, se cuenta con un tanque de recepción de caudal que facilita la entrada regulada de caudal sobre un sedimentador rectangular, seguido de un filtro en arena, grava y carbón activado, dos sedimentadores y escaleras invertidas para verter sobre la quebrada La Fiera el agua de mina.

Las siguientes estrategias buscan garantizar el mejoramiento de la calidad de las aguas vertidas:

- **Control de vertimientos.** La mina actualmente cuenta unidades de sedimentación y filtración, sin embargo este sistema se encontraba colmatado, y la descarga de aguas de minas tenía fugas (vertimientos difusos), se recomienda aumentar la frecuencia de los mantenimientos a las unidades de sedimentación y filtración, así como la reparación de las fugas de aguas sobre el suelo de forma difusa. De acuerdo a lo establecido por la Agencia de cooperación alemana, “Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP”[353].

[353] Agencia de Cooperación Alemana- GIZ. (2014).

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**. En cuanto al manejo dado a las grasas, aceites y combustibles, las locaciones necesarias en la mina para almacenar y tratar este tipo de sustancias que pueden generar contaminación del suelo, cuerpos de agua u otro cuerpo receptor, no cuentan con diques de contención, se recomienda construir un sitio de almacenamiento diseñado para tal fin, en la mina actualmente se propone evitar la posible contaminación de las aguas pluviales con estos residuos de grasas y aceites. Al finalizar las estructuras de diques la colocación de trampas de grasa y aceites mejorará las condiciones de drenaje de las aguas contaminadas con estas sustancias de hidrocarburos[354].

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes.** De acuerdo a los resultados de laboratorio obtenidos, el vertimiento de la mina presenta valores de mercurio superiores al límite máximo permisible establecido en la Resolución 631 de 2015 (0.002 mg/L de Hg). Sin embargo, es importante aclarar que en el caudal de entrada la concentración era de (0.0024 mg/L de Hg) ligeramente por encima del límite máximo permisible, sin embargo el caudal de salida presentó concentraciones de (0.0037 mg/L de Hg). Lo anterior indica que el sistema de tratamiento aporta concentraciones de mercurio al agua de mina, lo cual concuerda con la visita de campo, donde se evidenció colmatación del sistema de tratamiento, es decir falta de mantenimiento (limpieza) de las estructuras de tratamiento. Se recomienda aumentar la periodicidad de los mantenimientos y limpiezas a las unidades del sistema de tratamiento.

k. UPM 25317C08:

En superficie el agua es conducida hasta una estructura hidráulica de sedimentación que recibe el caudal bombeado por las 3 electrobombas desde el interior de la mina. Por gravedad mediante el uso de escaleras inclinadas se alimenta otra estructura hidráulica de sedimentación compuesta por dos unidades de sedimentadores en serie que se encargan de decantar las partículas sedimentables, para inmediatamente verter el agua sobre el terreno natural provocando el escurrimiento sobre terrenos colindantes del agua de mina. De acuerdo a lo observado, este sistema de tratamiento presenta un tiempo de retención adecuado, se observa remoción de solidos suspendidos.

Las locaciones de la mina cuentan con manejo de aguas pluviales y se evita la entrada de estas aguas al socavón, así mismo, el área del techado de la bocamina protege la

[354] Fedesarrollo y Sector de la Minería de Gran Escala. Minería y Medio Ambiente en Colombia. (2014). Bogotá.

entrada de las aguas de precipitaciones (pluviales). El área de almacenamiento de sustancias peligrosas, tales como grasas, aceites y lubricantes cuentan con recolección de aguas pluviales, diques de contención de derrames y trampa de grasas y aceites.

Por lo anterior, las recomendaciones para esta UPM, solo serán las estipuladas de forma general para todas las UPM del distrito minero de Zipa-Samacá.

I. Estrategias generales

- **Prevención de drenaje ácido de mina.** Las minas durante todas las etapas del proyecto minero, deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practicando pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el "balance" que se puede dar en el desecho[355].

  Hay compañías mineras que conocen y han implementado un sistema mixto de tratamiento de aguas para producciones pequeñas (<150 t/día) con resultados excelentes. Esta cuestión nos dice que este tipo de tratamientos pasivos son absolutamente viables en las zonas mineras de Guachetá, Samacá, etc. Para explotaciones mineras o al menos grupos de ellas que por su proximidad podrían trabajar con proyectos conjuntos.

  Por lo anterior, se considera aplicar proyectos piloto de barreras pasivas de tratamientos de aguas. Realizar unas implantaciones piloto como los que se han desarrollado por el Bureau of Mines del Research Center de Pittburg (Pennsylvania). Se establecen lechos enterrados a 1 o 2 metros de profundidad (con ausencia de oxígeno), de sección paralepipédica y cubiertos con caliza a través de los cuales fluye el agua a la salida de la explotación minera. Con sección de 1 m. x 1 m. y recubiertos por una cubierta plástica y arcilla o bien con una obra hormigonada en forma de canal

[355] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26).

y arcilla en su perímetro. Este esquema del Bureau de Minas es el que se observa a continuación[356].

Ilustración 53. Sección transversal esquemática de un sistema ALD (Anoxic Limestone Drainage)

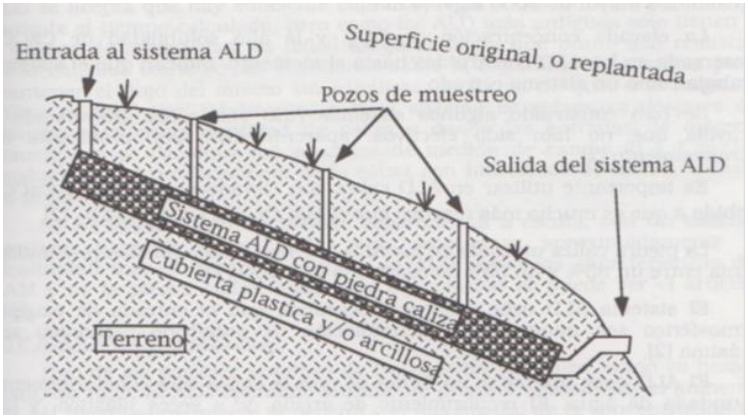
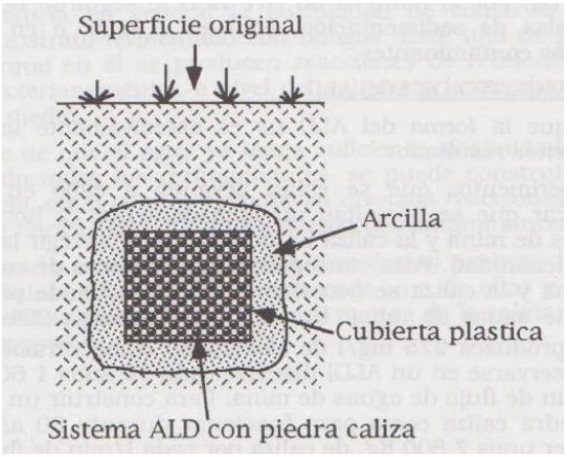


Ilustración 54. Sección longitudinal esquemática de un sistema ALD



- **Cumplimiento de la normatividad ambiental.** Las minas visitadas, no realizaban análisis fisicoquímicos de los efluentes, por lo tanto se recomienda, la realización periódica y remisión a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad

[356] Iraizoz, José María. comp. Informe de visita de campo en el contrato Minminas – UPME - Unicor 2015. Almadén (Ciudad Real). España. Noviembre 2015.

fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 631 de 2015.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías.** Las minas deberán realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Homogenización de caudales de descarga.** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la planta de tratamiento, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

- **Tratamiento de aguas domésticas.** Debido a que las minas visitadas no tenían acceso al servicio de alcantarillado, se recomienda el tratamiento para aguas domésticas compuesto como mínimo por una trampa de grasas y un tanque séptico.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales:** Las minas deberán implementar obras encaminadas a canalizar y/o almacenar las aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural o con recubrimiento y canalización de los techos con el fin de evitar su contaminación[357].

- **Metas de reducción de carga contaminante.** Cada una de las UPM deberán establecer e implementar metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, lo cual ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor por parte de la autoridad ambiental.

[357] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24)

- **Gestión del riesgo de vertimientos.** Cada UPM deberá establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[358].

3.2.2.2. Distrito minero de Amaga

Los vertimientos generados por las UPM, de acuerdo a sus características físico-químicas, pueden provocar un impacto a corto, mediano o largo plazo sobre la fuente receptora en caso de no ejercerse un control sobre estos. Por tanto se proponen estrategias en miras a implementar tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, las cuales se caracterizan por tener bajo costo y en cumplir con criterios como recuperación, reúso, fácil operación y mantenimiento.

a. UPM 05809C01:

El vertimiento generado en esta UPM es proveniente únicamente de la extracción del agua de infiltración en el socavón de trabajo. Para ello se utilizan seis (6) bombas electromecánicas, dos (2) de estas tienen una potencia de 5 Hp ubicadas a 250 metros de profundidad y cuatro (4) de 9 Hp ubicadas a 150 metros de profundidad. Estas impulsan el agua a través de seis 6 tuberías, 4 de estas de $1/^{1/2}$ pulgadas y dos de 2 pulgadas. Esta operación se realiza de forma automática las 24 horas del día. El agua extraída se conduce por un canal de concreto hacia 4 unidades hidráulicas de sedimentación en serie, donde se elimina cierta cantidad de sólidos en suspensión que a partir de los cuales se vierte, por gravedad, el agua por una tubería de 2 pulgadas de diámetro hacia la quebrada “La Sucia”. El volumen mensual vertido es de 6125,9328 m^3. El agua residual doméstica es tratada mediante un sistema compuesto por trampa de grasas, tanque séptico y finalmente campo de infiltración. En base a lo anterior, se propone como estrategia para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua lo siguiente:

[358] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. (p. 9)

- **Control de vertimientos:** Mejorar el diseño de las estructuras de sedimentación existentes teniendo en cuenta el caudal máximo extraído diario, así como aumentar el tiempo de retención para obtener posiblemente un nivel mayor de eliminación se solidos suspendidos y otras partículas que contenga el agua de mina. Lo anterior favorece recuperación de aguas para su reutilización. Adicionalmente se recomienda realizar periódicamente limpieza a las estructuras hidráulicas de tratamiento, con el fin de evitar su posible colmatación y bajo rendimiento. Los sólidos suspendidos y disueltos al sedimentarse se concentran en el fondo de las unidades sedimentarias formando lodos; de acuerdo a las características químicas de los lodos, pueden ser catalogados como residuos peligrosos y ser entregados a un tercero que posea licencia ambiental para dar disposición final a estos residuos.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** Evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. De tal modo, se sugiere implementar obras de techado y revisión y ajuste (de ser necesario) de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: Realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales:** Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural o con recubrimiento en concreto y canalización de los techos de las instalaciones administrativas y el casino con el fin de evitar su contaminación[359].

[359] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1998). Guía ambiental minería subterránea del carbón. Recuperado del 26 del 10 de 2015 de:
http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/medidas.htm#24.

b. La UPM 05809C02:

El vertimiento generado en esta UPM es proveniente únicamente de la extracción del agua de infiltración en el socavón de trabajo. El agua es impulsada mediante una electrobomba de 25 hp ubicada a 250 metros de profundidad y a través de tubería de 3 pulgadas. El bombeo se realiza cada 10 minutos con una duración aproximada de 3 minutos las 24 horas del día. El agua extraída se vierte a 4 pozas de sedimentación en serie, 3 de ellas con dimensiones 2 metros de largo por 4 metros de ancho por 1,20 metros de profundidad y la otra con dimensiones de 2 metros de largo por 1,5 metros de ancho por 1,20 metros de profundidad, todos en terreno natural. El agua tratada se vierte por gravedad hacia la quebrada “La Sucia”. El volumen mensual vertido es de 1974,5856 m^3. El agua residual doméstica es tratada mediante un sistema compuesto por trampa de grasas, tanque séptico y finalmente campo de infiltración. En base a lo anterior, se propone como estrategia para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua lo siguiente:

- **Control de vertimientos**: Mejorar el diseño de las estructuras de sedimentación existentes teniendo en cuenta el caudal máximo extraído diario y aumentando el tiempo de retención para obtener posiblemente un mayor porcentaje de eliminación se solidos suspendidos y otras partículas. Adicionalmente, Realizar cubrimiento de las paredes y fondo de las pozas de sedimentación con material impermeable, con el fin de evitar pérdidas de agua por infiltración. Lo anterior favorece recuperación de aguas para su reutilización. Adicionalmente se recomienda realizar periódicamente limpieza a las estructuras hidráulicas de tratamiento, con el fin de evitar su posible colmatación y bajo rendimiento. Los sólidos suspendidos y disueltos al sedimentarse se concentran en el fondo de las unidades sedimentarias formando lodos; de acuerdo a las características químicas de los lodos, pueden ser catalogados como residuos peligrosos y ser entregados a un tercero que posea licencia ambiental para dar disposición final a estos residuos.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina:** Evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. Se sugiere, entonces, implementar adicional a las obras de techado con las que ya cuentan, realizar una revisión y ajuste (de ser necesario) de la pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales**: Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural o con recubrimiento en concreto y canalización de los techos de las instalaciones administrativas y el casino con el fin de evitar su contaminación[360].

c. UPM 05809C03:

El vertimiento generado en esta UPM es proveniente únicamente de la extracción del agua de infiltración en el socavón de trabajo. El agua es extraída por gravedad, a través de tubería de 3 pulgadas. La extracción de agua es constante, es decir, las 24 horas del día. El agua extraída se vierte a 5 tanques de sedimentación en serie, todos en concreto. El agua tratada se vierte por gravedad hacia la quebrada “La Mica”. El volumen mensual vertido es de 3212,3520 m^3. Las aguas residuales domésticas son tratadas en un sistema séptico compuesto por trampa de grasas, tanque séptico, filtro FAFA y campo de infiltración. En base a lo anterior, se propone como estrategia para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua lo siguiente:

- **Control de vertimientos**: Mejorar el diseño de las estructuras de sedimentación existentes teniendo en cuenta el caudal máximo extraído diario y aumentando el tiempo de retención para obtener posiblemente un nivel de eliminación se solidos suspendidos y otras partículas. Lo anterior favorece recuperación de aguas para su reutilización. Adicionalmente se recomienda realizar periódicamente limpieza a las estructuras hidráulicas de tratamiento, con el fin de evitar su posible colmatación y bajo rendimiento. Los sólidos suspendidos y disueltos al sedimentarse se concentran en el fondo de las unidades sedimentarias formando lodos; de acuerdo a las características químicas de los lodos, pueden ser catalogados como residuos peligrosos y ser entregados a un tercero que posea licencia ambiental para dar disposición final a estos residuos.

- **Prevención de la contaminación de las aguas de mina**: Evitar la entrada de agua desde la bocamina hacia el socavón, ya que estas aguas de escorrentía se contaminan por arranque y transporte de sedimentos, alterando la calidad fisicoquímica de las aguas en el interior del socavón. De tal modo, se sugiere

[360] Op. cit

implementar obras de techado y revisión y ajuste (de ser necesario) de pendiente del terreno en la bocamina.

- **Prevención y monitoreo del estado de las tuberías**: realizar inspección periódica a las tuberías de conducción de aguas desde el interior del socavón, para evitar pérdidas de agua por tuberías en mal estado. Esto evita el vertimiento del agua de mina no tratada sobre el suelo u otro cuerpo receptor.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales**: Instalar sistemas de canalización y/o almacenamiento de aguas lluvias en lugares donde pueda entrar en contacto con residuos de mina o cualquier residuo peligroso y escurrir directamente a un cuerpo de agua cercano, suelo u otro cuerpo receptor, mediante la construcción y mantenimiento de obras de drenaje como cunetas perimetrales en suelo natural o con recubrimiento en concreto y canalización de los techos de las instalaciones administrativas y el casino con el fin de evitar su contaminación[361].

d. UPM 05809C04:

El vertimiento generado en esta UPM es proveniente únicamente de la extracción del agua de infiltración del pit, que escurre hacia el botadero (sitio de disposición de estériles) por canales naturales ubicados a un lado de la vía. Desde el botadero y mediante dos tubos de 3 pulgadas cada uno se extrae el agua y para conducirla hacia un tanque de sedimentación a partir del cual el agua tratada se vierte por gravedad hacia la quebrada “La Zarzala”. El volumen mensual vertido es de 1392,7680 m^3. Las aguas residuales domésticas son tratadas en un sistema séptico compuesto por trampa de grasas, tanque séptico, filtro FAFA y campo de infiltración. Las aguas de lluvia son conducidas por canales ubicados a un lado de la vía de acceso a la mina hasta una poza en terreno natural a partir de donde son dispuestas directamente al ambiente. En base a lo anterior, se propone como estrategia para mejorar la calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua lo siguiente:

- **Control de vertimientos:** Mejorar el diseño de las estructuras de sedimentación existentes teniendo en cuenta el caudal máximo extraído diario y aumentando el tiempo de retención para obtener posiblemente un nivel de eliminación se solidos suspendidos y otras partículas. Lo anterior favorece recuperación de aguas para su reutilización. Adicionalmente se recomienda realizar periódicamente limpieza a las

[361] Op. cit.

estructuras hidráulicas de tratamiento, con el fin de evitar su posible colmatación y bajo rendimiento. Los sólidos suspendidos y disueltos al sedimentarse se concentran en el fondo de las unidades sedimentarias formando lodos; de acuerdo a las características químicas de los lodos, pueden ser catalogados como residuos peligrosos y ser entregados a un tercero que posea licencia ambiental para dar disposición final a estos residuos.

- **Manejo y recuperación de aguas pluviales**: Ampliar la cobertura y mejorar el diseño (en lo posible) del sistema de manejo de aguas de lluvia e instalar sistemas almacenamiento de estas aguas mediante la instalación de canales en los techos de las instalaciones administrativas y el casino con el fin de aprovechar el recurso y evitar su contaminación[362].

- **Tratamiento de lixiviados en el botadero de estériles:** Instalar en los botaderos de estériles un sistema de recolección y tratamiento de las aguas de escorrentía que hayan entrado en contacto con ellos, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua o de infiltrarlo en el suelo[363].

e. Estrategias Generales

Además de las anteriores estrategias para orientadas a mejorar la calidad de los vertimientos generados en cada una de las UPM, se tiene en cuenta las siguientes estrategias generales para todas las UPM:

- **Prevención de drenaje acido de mina:** Durante todas las etapas del proyecto minero, las compañías deben llevar a cabo muestreos y análisis adecuado para identificar los diferentes minerales y elementos que se asocian a los depósitos y determinar si se están produciendo drenaje acido. Para el material estéril (material de desecho) practique pruebas estáticas y cinéticas de simulación para medir el potencial ácido y calcule también el potencial neutralizante en las muestras que extraiga. Esto debido a que, aunque existe un riesgo de drenaje ácido en el material de desecho, también existen rocas con capacidad de neutralizar la acidez (presencia de carbonatos por ejemplo) y el objetivo de las pruebas es determinar el “balance” que se puede dar en el desecho[364].

[362] Op. cit
[363] Op. cit
[364] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 26.

- **Cumplimiento de la normatividad ambiental**: Realizar periódicamente y remitir a la Autoridad Ambiental competente los monitoreos de calidad fisicoquímica de los vertimientos, establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

- **Homogenización de caudales de descarga:** Antes de iniciar el tratamiento de las aguas de mina en la PTAR, se recomienda el uso de tanques de igualación de caudal, que permitan homogenizar la descarga, y no presentar rangos amplios en la calidad fisicoquímica del vertimiento de aguas de mina hacia el cuerpo receptor.

- **Metas de reducción de carga contaminantes:** Establecer metas de reducción de carga contaminante, implementando nuevas unidades de tratamiento y sistemas integrados de gestión, ayudará a reducir los contaminantes previos al vertimiento de la Unidad de producción minera, además, fortalecerá la congruencia con los parámetros de calidad establecidos para el cuerpo receptor por la autoridad ambiental competente en la región CORANTIOQUIA.

- **Eliminación de metales pesados en los efluentes**: En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación (humedales artificiales) y tratamientos químicos como la osmosis inversa[365].

- **Prevención de generación de residuos peligrosos**: Los combustibles deben ser almacenados como mínimo a 100 metros de cualquier cuerpo de agua fresca, con diques de contención de derrames que deberán ser construidos con materiales resistentes a los hidrocarburos. Los equipos también deben ser reparados a mínimo 100 m de cualquier cuerpo de agua. Al finalizar las estructuras de diques colocar trampas de grasa para mantener buenas condiciones de funcionamiento[366].

[365] AGENCIA DE COPERACIÓN ALEMANA- GIZ, (2014). Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal. Arequipa, Perú. p. 6.
[366] Fedesarrollo y sector de la minería de gran escala. Minería y medio ambiente en Colombia. Bogotá, 18 de junio de 2014.

- **Gestión del riesgo de vertimientos**: Establecer un enfoque de gestión del riesgo hacia la prevención de la contaminación del agua, sobre cualquier cuerpo o drenaje hídrico en inmediación del proyecto, no solo superficial, sino también subterráneo y de agua lluvia, aplicando procedimientos y asignando recursos para atender derrames accidentales de cualquier sustancia peligrosa en el agua y en el suelo que lleve a infiltraciones[367].

3.2.2.3. Distrito minero de La Jagua

Las aguas residuales industriales en las UPM, obedecen al vertimiento realizado por la planta de lavado de carbón térmico. El lodo generado producto del lavado del carbón (en la planta de lavado), es impulsado mediante el uso de electrobombas hasta una laguna de sedimentación y posteriormente una laguna de clarificación. Esta última vierte sus aguas sobre un reservorio de agua, previo tratamiento por polímeros (floculantes Nalclear - 7763), desde el cual se impulsan las aguas hasta un reservorio desde el cual se capta agua para volver a la planta de lavado (recircula).

Con el objeto de evitar la generación de vertimientos, la planta recircula el agua vertida en las partes de consumo, para volver a captar del sitio.

Se recomienda a estas UPM seguir implementado las acciones actuales de tratamiento de efluentes, mediante el uso de floculantes y lagunas de sedimentación

[367] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (2014). Caja de herramientas para la implementación del plan de gestión social. p. 9.

4. LINEA BASE AMBIENTAL

Conforme a los resultados mostrados en las Tabla 174, 175 y 176, donde se estipulan las concentraciones de mercurio total y metilmercurio en los diferentes compartimientos ambientales de dos zonas mineras priorizadas, los datos promedios y los mínimos y máximos para las diferentes matrices, se consideran valores de línea base.

Tabla 174. Concentraciones de mercurio en compartimientos ambientales de las zonas priorizadas en los departamentos de Bolívar y Cauca.

DEPARTAMENTO	TIPO DE MUESTRA, Unidades	Descripción	PROMEDIO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
BOLIVAR	Suelo, µg/kg	Mina o entable	33223,1	329,5	307989,1
BOLIVAR	Suelo, µg/kg	Cultivo o agrícola	845,1	26,7	7723,3
BOLIVAR	Sedimento, µg/kg	Cuerpos de Agua	9045,1	31,6	37797,2
BOLIVAR	Sedimento, µg/kg	Descarga Mina	22277,4	1054,4	75832,9
BOLIVAR	Agua, µg/L	Descarga de Mina	3685,7	10,9	16097,6
BOLIVAR	Agua, µg/L	Cuerpo de Agua	115,10	2,44	823,2
BOLIVAR	Agua, µg/L	Lluvia	9,28	<0,14	34,2
BOLIVAR	Atmosférica, ng/m3	Aire	363.4	0,14	82255,9
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz -Raíz	845,7	59,8	2375,9
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Tallo	14,6	8,38	24,5
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Hoja	125,0	1,30	364,5
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Arroz - Granos	36,3	20,6	52,4
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces-Bocachico	38,9 (33,5)*	15,3 (14,8)*	109,0 (97,5)*
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces-Bagre pintao	602,9 (521,3)*	456,8 (417,6)*	2354,7 (2098,3)*
BOLIVAR	Biota, µg/kg	Peces- Blanquillo	467,3 (401,2)*	224,4 (198,6)*	1459,3 (1316,9)*
CAUCA	Suelo, µg/kg	Mina o entable	14431,5	150,5	110763,6
CAUCA	Suelo, µg/kg	Cultivo o agrícola	461,14	71,1	3363,7
CAUCA	Sedimento, µg/kg	Cuerpos de Agua	11543,2	94,3	43890,7
CAUCA	Sedimento, µg/kg	Descarga Mina	27535,7	1224,4	115772,6
CAUCA	Agua, µg/L	Descarga de Mina	1270,2	39,1	3932,9
CAUCA	Agua, µg/L	Cuerpo de Agua	31,97	<0,14	123,2
CAUCA	Agua, µg/L	Lluvia	2,12	<0,14	6,72
CAUCA	Atmosférica, ng/m3	Aire	166,0	0,11	85051,7
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz -Raíz	336,0	53,2	835,3
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Tallo	44,0	25,1	81,4
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Hoja	64,5	3,2	113,0
CAUCA	Biota, µg/kg	Arroz - Granos	28,0	8,1	41,3

*Valores en paréntesis son las concentraciones de metilmercurio (MeHg).
Nota: Las unidades de las concentraciones están dadas en la tabla.

Tabla 175. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento de Bolívar.

SUELO DE MINA O ENTABLE (n=15)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
5,78	301,91	34,53	329,48	329,48	329,48	0,03	3,18	0,70
SEDIMENTOS DESCARGAS MINERÍA (n=16)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
3,59	81,29	19,93	677,37	210165,37	35316,92	0,03	1,19	0,30
SEDIMENTOS AGUA NATURAL (n=11)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,54	30,46	11,99	31,60	84400,17	10950,79	0,02	8,73	2,37
SUELO AGRÍCOLA (n=20)								
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,53	38,68	7,49	44,12	61911,48	2974,11	0,04	11,15	2,67

Tabla 176. Concentraciones de Hg y MeHg en suelos y sedimentos en el departamento del Cauca.

SUELO DE MINA O ENTABLE (n=15)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
6,03	19,62	11,81	79,34	19736,25	4092,71	0,07	13,44	4,90
SEDIMENTOS DESCARGAS MINERÍA (n=16)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
6,80	171,48	39,83	374,49	115772,63	22775,27	0,02	1,85	0,46
SEDIMENTOS AGUA NATURAL (n=4)								
ng Hg-MeHg/g			ng Hg/g			%MeHg		
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
5,74	75,25	40,50	433,37	37368,91	18901,14	0,20	1,33	0,76
SUELO AGRÍCOLA (n=22)								
min	máx	promedio	min	máx	promedio	min	máx	promedio
1,48	50,12	9,94	71,65	1500,38	277,16	0,41	38,6	5,52

Los valores mínimos establecidos para cada matriz, en este sentido, para suelos un valor alrededor de 26,7 µg/kg y 94,3 µg/kg, para los departamentos de Bolívar y Cauca, respectivamente, se establecen como valores de fondo o background para esa matriz en esos departamentos. Asimismo, los valores mínimos para sedimentos, aire y agua en la mencionada tabla, se estipularían como de fondo o background para las zonas en mención, y por los valores superiores a estos, se considera que ya hay una afectación ambiental por la actividad minera, debido a que en esas zonas, es la única actividad que utiliza mercurio. Adicionalmente, en las Ilustración 64 y 40 (ítem 6) se muestran mapas de distribución espacial de concentraciones de mercurio en suelos en las áreas estudiadas (Departamentos de Bolívar y Cauca), lo cual es un reflejo de la dispersión del contaminante desde los sitios de uso (minas o entables), lo cual está afectando los diferentes compartimientos ambientales en esas zonas, como lo muestran los resultados de la Tabla 174.

Las concentraciones de MeHg en sedimentos, suelos y biota (peces), muestran el potencial de metilación del mercurio que es dispersado desde los sitios de procesamiento del mineral aurífero. En el caso de suelos y sedimentos, en ambas zonas, generalmente este potencial es mayor en cuerpos de agua natural o lejos de entables o minas. Esto se explica debido a que la metilación ocurre muy favorablemente en presencia de materia orgánica, y los residuos mineros normalmente están cargados de material inerte o muy inorgánico, en comparación con sedimentos de cuerpos de aguas lejos de las minas y suelos agrícolas, donde normalmente los contenidos de materia orgánica son mayores. En algunos entables o minas, aledaños a estos, a veces es común que vivan personas con animales de corral (cerdos, gallinas, entre otros), y los residuos orgánicos y/o aguas residuales son arrojados junto a los residuos mineros, pudiéndose potencializar la producción de MeHg en el suelo o sedimento minero, como pudo evidenciarse en algunos casos en el departamento del Cauca.

Por otra parte, con relación a la biodisponibilidad y a las fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos, encontramos que el Hg biodisponible es menor en los residuos de mina (suelos y sedimentos), que en suelos y sedimentos alejados de los sitios de proceso (Tabla 177), esto tiene su explicación debido a que estos residuos en su mayoría son residuos de minas con mucho material inorgánico que sale del proceso, en comparación con suelos de cultivo o sedimentos alejados, ya que ellos tienen mayores aportes de materia orgánica. Este Hg biodisponible tiene una mayor potencialidad para convertirse en MeHg, que es la forma más toxica del mercurio. Con relación a las otras fases geoquímicas, era de esperarse, que los suelos y sedimentos de minas y/o entables, la fase de Hg elemental y enlazada a óxidos de hierro y manganeso, además la de residual o de sulfuros, tuviesen mayores porcentajes en comparación con estas mismas fases en suelos y sedimentos lejos de minas, donde estos últimos predomina la fase enlazada a la materia orgánica. Lo anterior es debido, a que en los sitios mineros hay descarga directa del mercurio en los suelos y efluentes de los residuos y/o arenas que

van con el proceso de amalgamación, estos tienen Hg residual que no se amalgamo, material inerte de minas que forman parte de las arenas (óxidos de hierro y manganeso), y sulfuro de mercurio (HgS), bien sea que haya sido formado a partir de la pirita en las condiciones de molienda o amalgamación, o bien sea el Hg que esta en forma natural con sulfuro, que no se descompone en el proceso aurífero. Estos residuos se dispersan en el ambiente, a través del aire (viento) y corrientes de agua, y van cambiando su composición conforme se alejan del sitio de emisión, por aportes de materia orgánica natural o antropogénica, y/o se mezclan con suelos y sedimentos con mayores contenidos de materia orgánica. Podemos concluir, con todas las consideraciones anotadas, que el origen del mercurio en el ambiente de las zonas estudiadas, en su gran mayoría proviene del utilizado en los procesos mineros.

Tabla 177. Fases geoquímicas del mercurio en suelos y sedimentos de las áreas estudiadas.

LUGAR	MUESTRA	TOTAL ng/g	BIODISPONIBLE ng/g (%)	ORGANICA ng/g (%)	ELEMENTAL ng/g (%)	RESIDUAL O SULFURO ng/g (%)
Bolívar	Suelo de mina o entable	25672,3	205,4 (0.8)	2130,1 (8.3)	13375,3 (52.1)	9832,5 (38.3)
Bolívar	Sedimento de mina o entable	1054,4	126,5 (1.2)	140,2 (13.3)	593,62 (56.3)	3142,2 (29.8)
Bolívar	suelo agrícola	222,6	934,9 (4.2)	102,6 (46.1)	49,8 (22.0)	62,1 (27.6)
Bolívar	Sedimentos cuerpos de agua	261,9	185,95 (7.1)	131,5 (50.2)	65,7 (25.1)	44, 8 (17.1)
Cauca	Suelo de mina o entable	1172,9	832,76 (0.71)	144,3 (12.3)	578,2 (49.3)	444,5 (37.9)
Cauca	Sedimento de mina o entable	1224,4	122,4 (1.0)	198,6 (16.2)	628,11 (51.3)	389,4 (31.8)
Cauca	suelo agrícola	245,2	8,82 (3.6)	123,1 (50.2)	57,7 (23.5)	56,2 (22.9)
Cauca	Sedimentos cuerpos de agua	12023,8	9859,5 (8.2)	6132,3 (51,0)	3282, 5 (27.3)	1659,3 (13.8)

Con el fechado de núcleos sedimentarios a través de isotopos se pudo evidenciar la evolución temporal del mercurio, que potencialmente se libera en los sitios mineros. Para lo anterior se seleccionaron la toma de tres (3) núcleos, uno en el área de Mina Santa Cruz (Sur de Bolívar), que recoge la historia de las actividades en esa zona, otro en la ciénaga de la Encaramada, que representa la historia de las actividades mineras de la cuenca del río Caribona y parte del bajo Cauca, y el último, en el departamento del Choco (aguas debajo de Quibdó sobre el río Atrato), que recoge la historia de las actividades auríferas en el área del río Quito y Atrato (arriba de Quibdó).

Para el núcleo de la Mina Santa Cruz (Ilustración 55), hay una evolución de mayores concentraciones en el tiempo para Hg. La evolución de las concentraciones de Hg en el tiempo muestra el uso generalizado del metal en el proceso aurífero en esta zona. En la

Ilustración 56, se muestran las líneas de tendencia, o modelos de evolución temporal de Hg para esta zona de estudio.

Ilustración 55. Perfiles de evolución temporal en sedimentos de las concentraciones de Hg, en el área del sur de Bolívar.

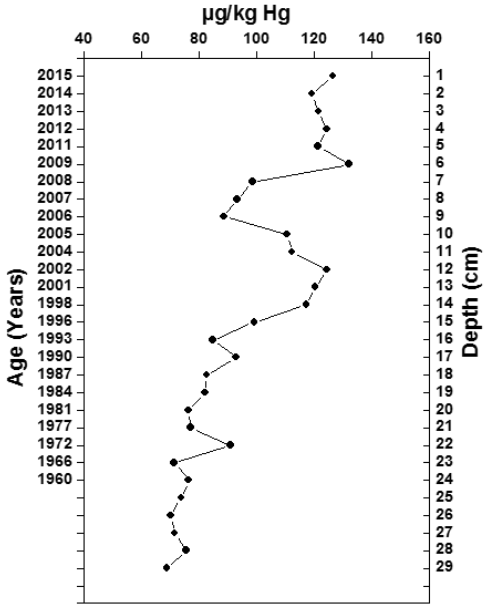


Ilustración 56. Líneas de tendencia y modelos de evolución temporal de las concentraciones de Hg, en sedimentos en el área del sur de Bolívar.

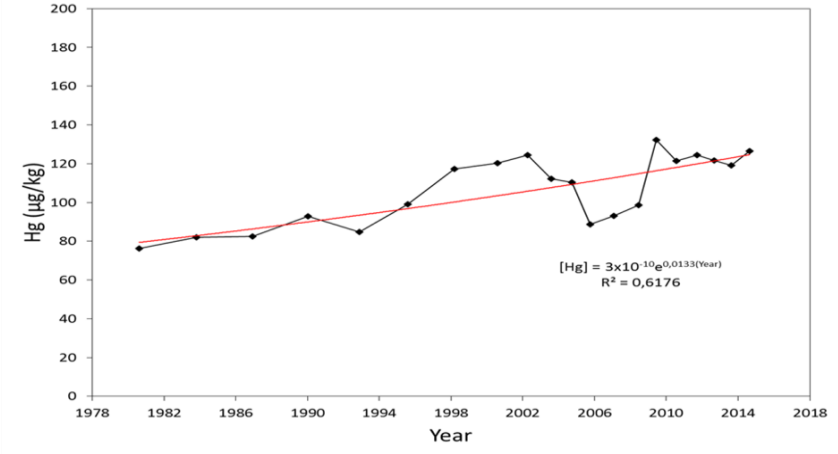


Ilustración 57. Perfiles de evolución temporal en sedimentos de las concentraciones de Hg, en el área del Bajo Cauca.

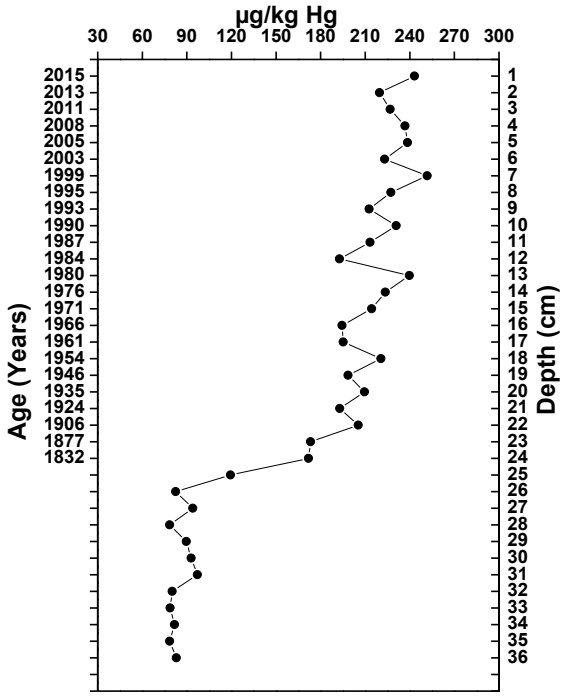
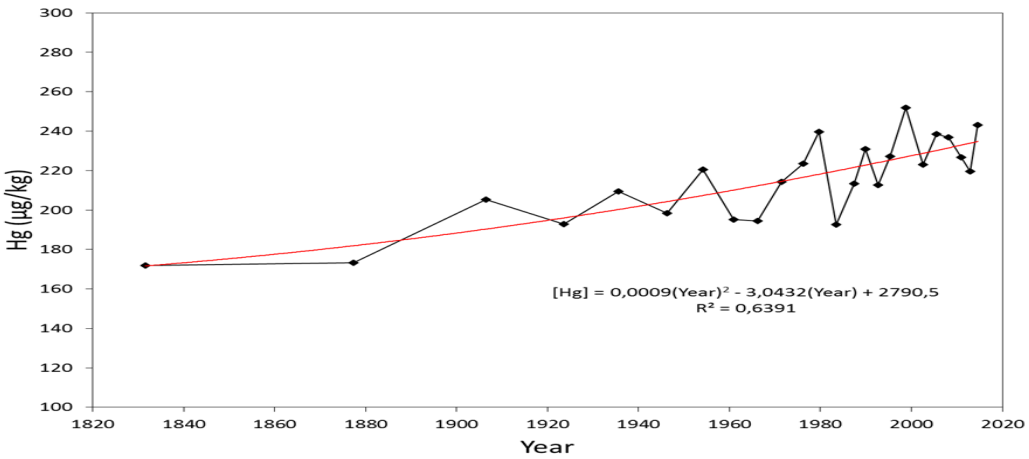


Ilustración 58. Líneas de tendencia y modelos de evolución temporal de las concentraciones de Hg, en sedimentos en el área del Bajo Cauca.



Para el núcleo correspondiente a la representatividad de la minería aurífera del bajo Cauca y de la cuenca del río Caribona, como lo es el colectado en la ciénaga de la

Encaramada, las tendencias para Hg, tienden a ser muy similares (Ilustración 57 y Ilustración 58), pero con la diferencia que el incremento de las concentraciones basales, empiezan desde antes del año de 1832, mostrando esto como evidencia, que la minería aurífera que utiliza mercurio data desde mucho tiempo atrás en Colombia, y no de épocas relativamente recientes, y que las concentraciones o la cantidad de mercurio usado ha tenido una evolución positiva en el tiempo.

Por otra parte, adicionalmente a los núcleos fechados, se muestran perfiles sedimentarios en otras zonas de importancia minera en el país (Quebrada Cascabel en Marmato, Caldas, Río Atrato aguas debajo de Quibdó, Choco, y en el embalse de la Salvajina y río Teta sector la Balsa, departamento del Cauca), para establecer las tendencias de las concentraciones de Hg. Los perfiles son mostrados en las Ilustración 59, Ilustración 60 e Ilustración 61.

Caso particular reviste las evoluciones de los niveles de Hg en el área de Marmato (Ilustración 59). El perfil muestra que en años anteriores hubo un abundante uso del Hg en los procesos mineros, disminuyendo este hasta cierto tiempo debido a la posibilidad de cambio de tecnologías de extracción y/o a una disminución de la producción aurífera, pero en años recientes nuevamente se muestra un pico de concentración, posiblemente ligado al uso del Hg por una mayor producción de oro debido al incremento de los precios internacionales, o bien sea, que se procesaran mediante cianuración arenas o materiales amalgamados ricos en mercurio provenientes de otras zonas auríferas. La caída del perfil hacia menores concentraciones de Hg en los sedimentos pone en evidencia la eliminación o reducción del proceso de amalgamación en esta área, con o que concuerda con las observaciones hechas en campo en el Estudio de Cadena de Mercurio, y en este, donde ya no se utiliza el Hg en los procesos mineros del área de Marmato, pero esta disminución de concentraciones, en parte también puede estar ligada a una disminución de la producción de oro, por la caída de los precios. Esas concentraciones, que concuerdan con las concentraciones recientes de Hg en el perfil, posibilitan la existencia de plomo asociado a los yacimientos mineros, bien sea como galena (PbS), u otro tipo de elemento que este liberando este metal en los procesos mineros.

Las concentraciones de arsénico, muestra que en la zona han podido existir menas con presencia de As, y que se han liberado al ambiente acuático por las descargas de los procesos de beneficio.

En los perfiles representativos de los sedimentos para el departamento del Choco (Ilustración 60), se muestra un leve incremento a través del tiempo de las concentraciones de Hg desde niveles basales, con unos picos que pueden estar asociados a la producción aurífera en este departamento.

Cabe destacar que concentraciones de As pueden ser liberadas al medio acuático desde la remoción de los suelo, teniendo en cuanta que en esta zona la minera es netamente aluvial, convirtiendo estos niveles como biodisponibles a los organismos, y las concentraciones basales de As se pueden considerar alrededor de 200 ng/g. En esta zona concentraciones de Hg en sedimentos mayores a valores de línea base (alrededor de 50 ng/g), se consideran aportes antropogénicos del mercurio utilizado en el proceso minero (Ilustración 60).

Ilustración 59. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg, en el área del Departamento de Caldas (Marmato)

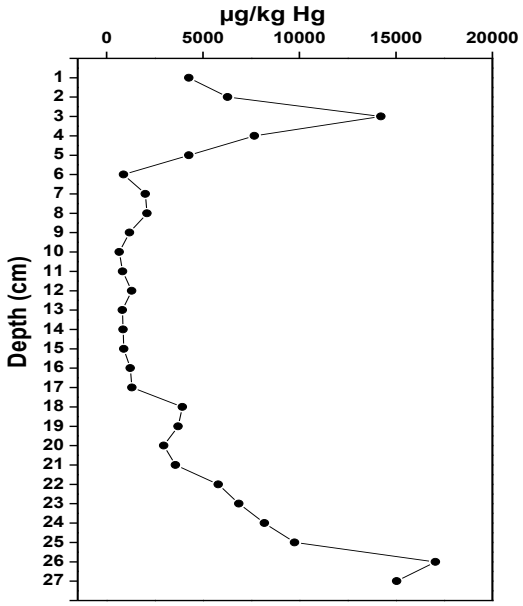


Ilustración 60. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg, en el área del Departamento de Choco (Aguas debajo de Quibdó)

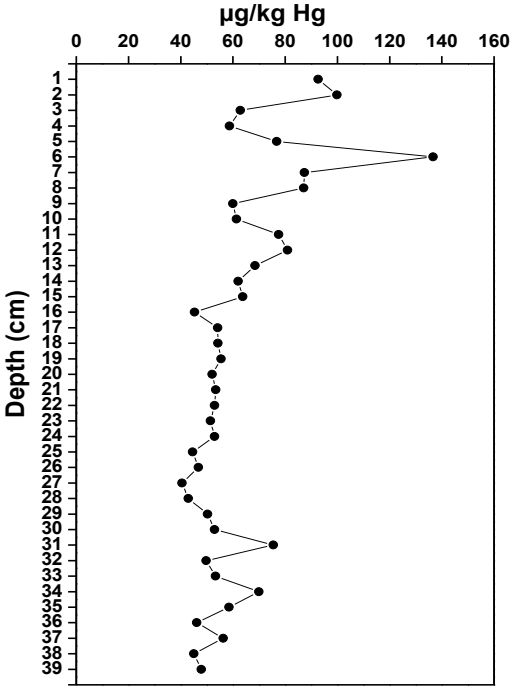
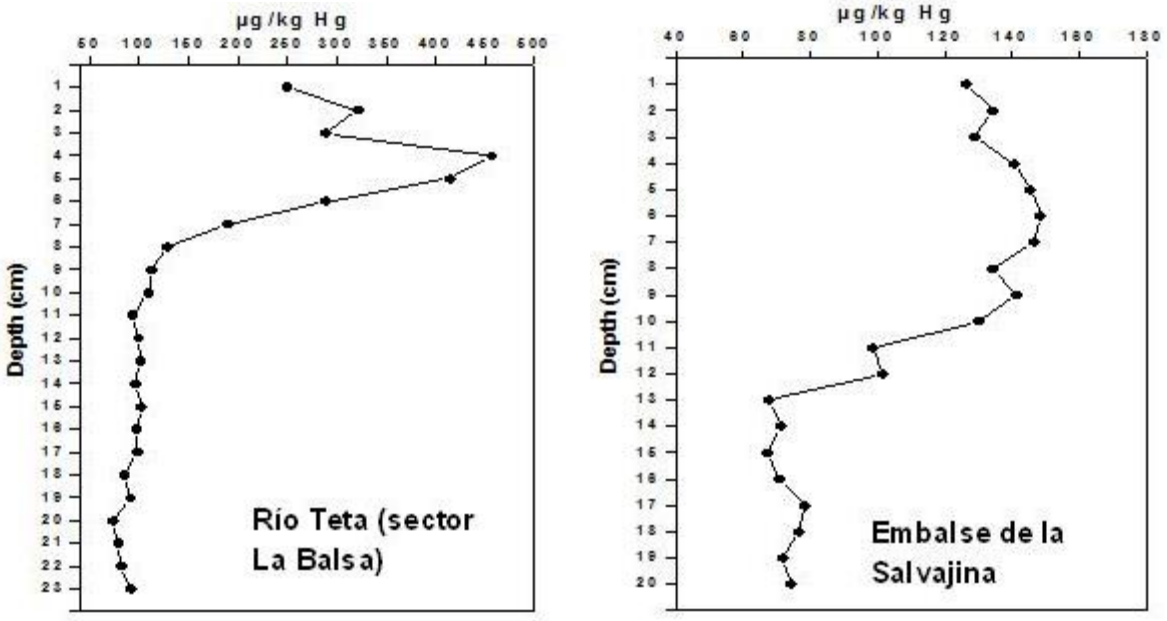


Ilustración 61. Perfiles sedimentarios de las concentraciones de Hg en el área del Departamento del Cauca (Embalse de la Salvajina y el sector la Balsa del Río Teta)



5. MODELO CONCEPTUAL DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y TEMPORAL DEL MERCURIO EN EL ÁREA MINERA

Para establecer los modelos conceptuales de distribución del mercurio en el ambiente, se tomó la información de los resultados de las concentraciones de Hg en las zonas seleccionadas (departamentos de Bolívar y del Cauca), las cuales son resumidas en la Tabla 174. Los modelos de distribución ambiental son presentados en las Ilustración 62 y Ilustración 63, para las áreas auríferas de los departamentos de Bolívar y Cauca, respectivamente. En ellos básicamente muestra, que el Hg liberado desde los procesos mineros, bien sea en forma de vapor (Hg^0) o en los residuos de mina (Hg^{2+} y Hg^0), se dispersan en el ambiente, contaminando los suelos, aguas, aire y biota (peces y plantas), donde parte de él está en forma de metilmercurio (MeHg), generando potencialmente un impacto negativo en la salud humana, debido a que el mercurio que se acumula en la biota se transfiere fácilmente a través de los alimentos al cuerpo humano, además de la ingesta o absorción a través del agua y el aire respirado. Adicionalmente, en las Ilustración 64 e Ilustración 65, se muestra la distribución espacial del Hg en suelos de los sitios en estudio, lo que evidencia que las fuentes principales del contaminante o las fuentes de emisión primaría, de donde se dispersa el mercurio, son los entables o minas de extracción de oro donde se utiliza el proceso de amalgamación.

El comportamiento o la evolución temporal del uso del mercurio en las zonas de estudio, y las concentraciones de plomo y arsénico que potencialmente se liberan en el proceso minero, se analizó anteriormente mediante la interpretación de los núcleos sedimentarios.

Ilustración 62. Modelo conceptual de distribución del mercurio en la zona del Departamento de Bolívar, representados en los municipios mineros de Hatillo de Loba, San Martín de Loba y Barranco de Loba.

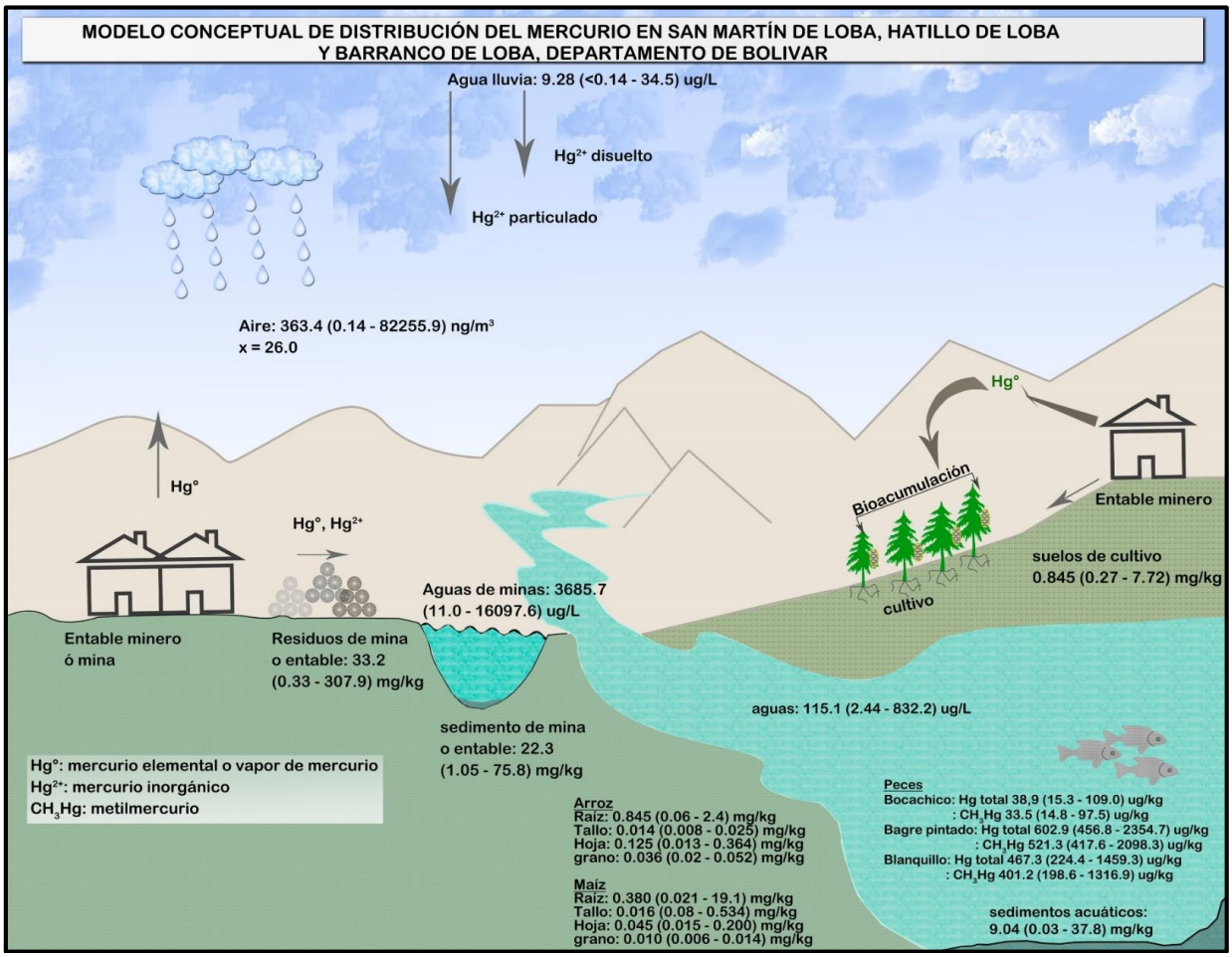


Ilustración 63. Modelo conceptual de distribución del mercurio en la zona del Departamento del Cauca, representada en los municipios mineros de Buenos Aires y Suarez.

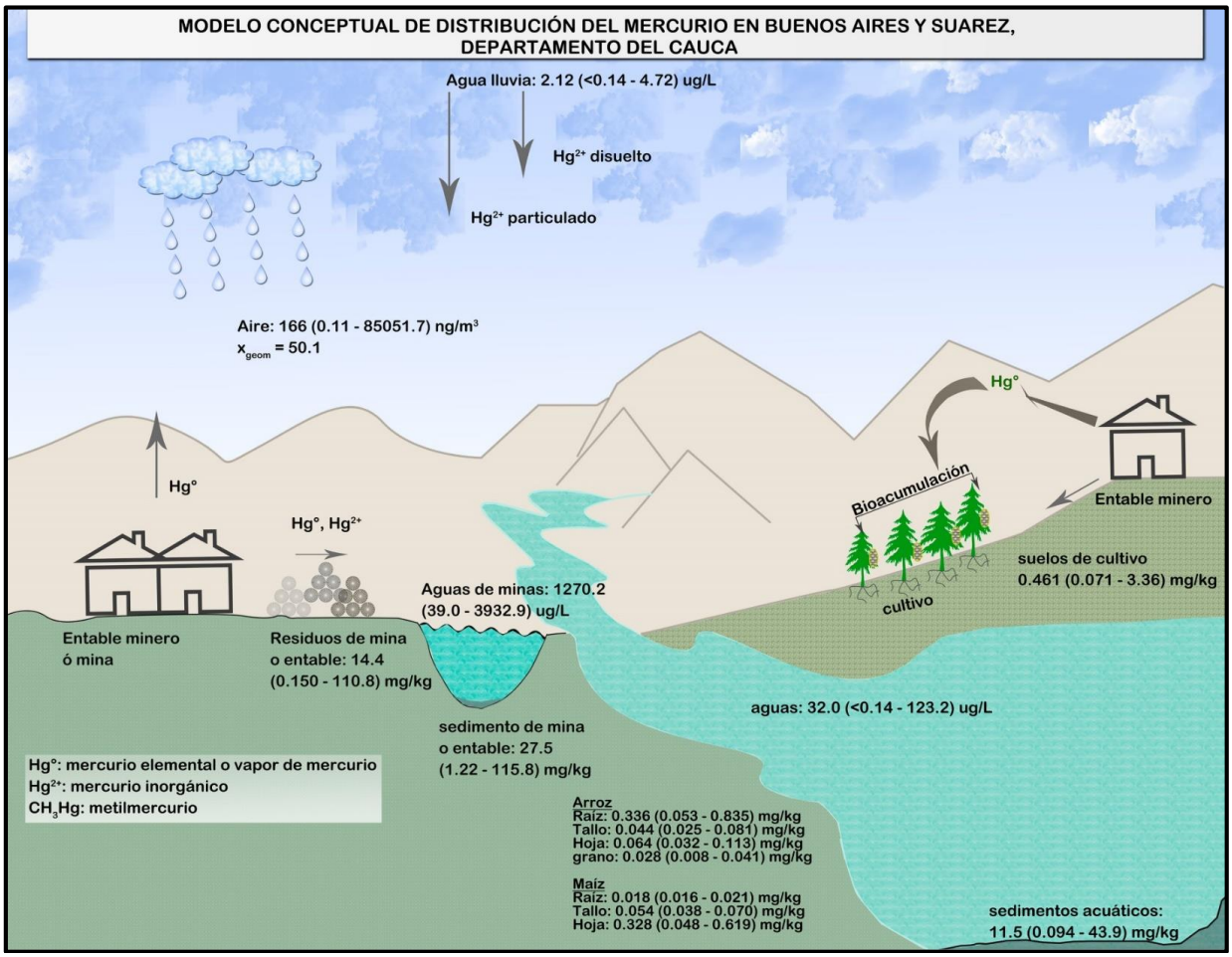


Ilustración 64. Mapa de distribución espacial de las concentraciones de mercurio en suelos en la zona del Departamento de Bolívar.

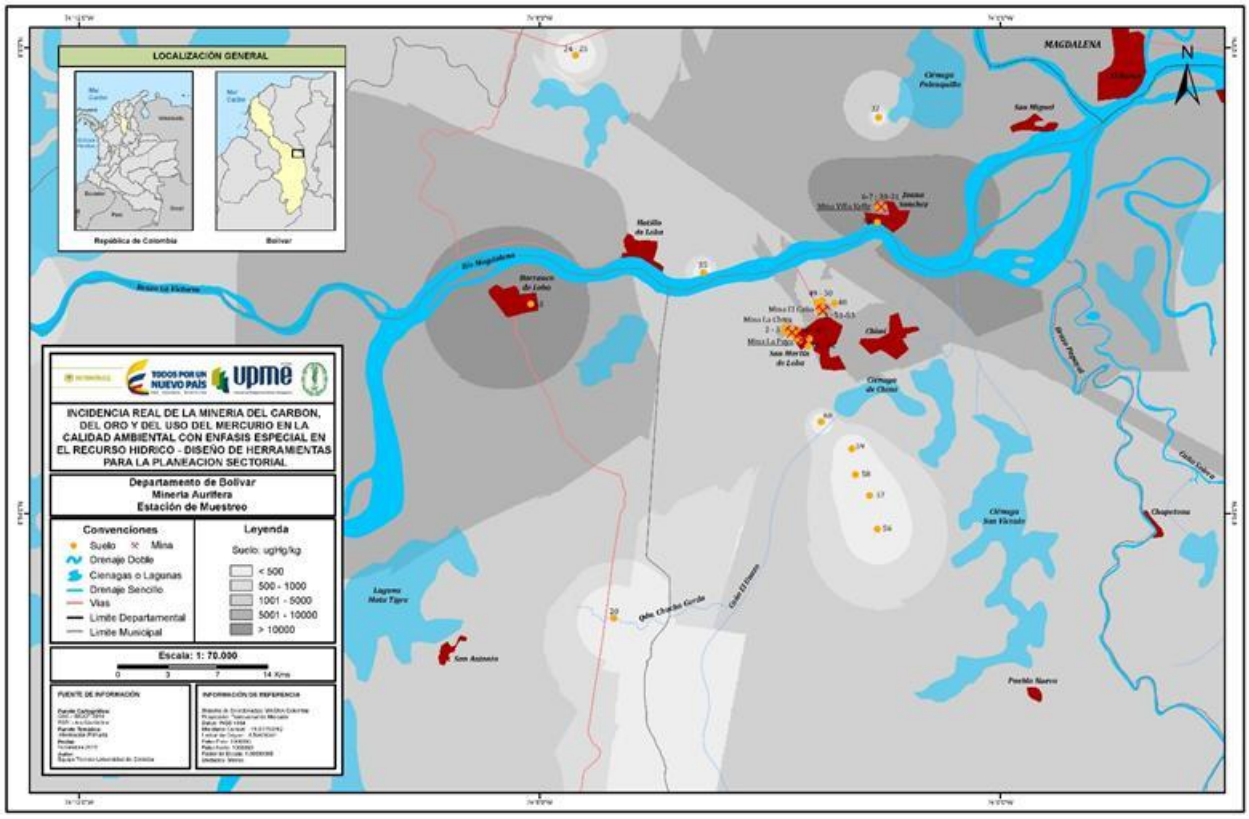
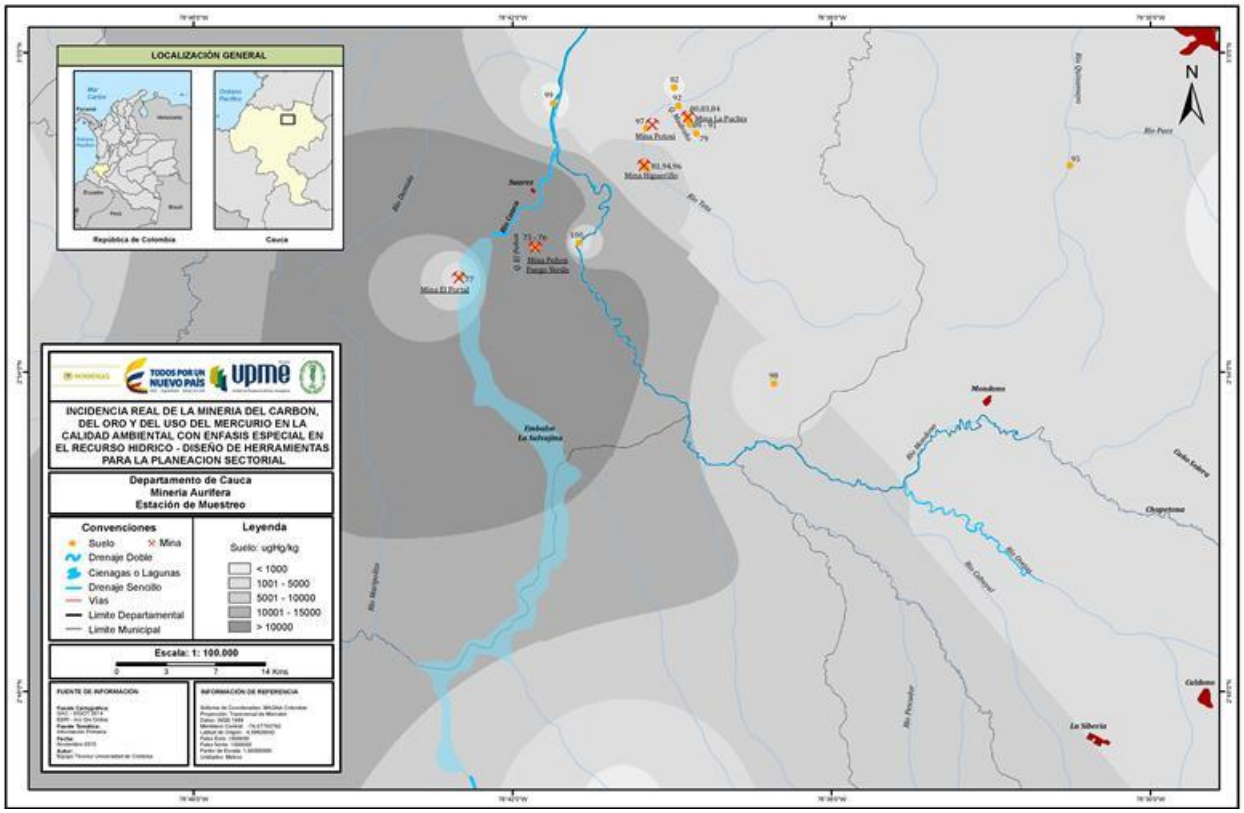


Ilustración 65. Mapa de distribución espacial de las concentraciones de mercurio en suelos en la zona del Departamento del Cauca.



ESTRATEGIAS ESPECÍFICAS PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO

Para disminuir la contaminación por mercurio se pueden implementar estrategias generales y específicas, independientemente de la zona, y el tipo de yacimiento (filón, veta o roca, y aluvial), para dar conformidad a la ley 1658 de 2013. Dentro de los casos generales y de mayor importancia, en primer lugar, está el tratamiento de los residuos y/o efluentes mineros para eliminar o reducir las concentraciones de metales tóxicos (Hg, Pb, As, Cu, entre otros), mediante tecnologías de tratamiento como la fitorremediación, humedales construidos, precipitación química, presas de jales (relaves) o residuos, entre otras, y en segundo lugar, hacer una caracterización del material de mina para establecer el mejor proceso (mayor eficiencia) para la extracción del metal precioso, eliminando el uso de la amalgamación. En caso de que aún se utilice mercurio, se debe tener un buen sistema de retorta para la recuperación del vapor de mercurio como mercurio metálico.

Como estrategias específicas podemos mencionar las siguientes (extractado del documento de Transferencia de tecnologías limpias para el sector de la minería de pequeña escala, Proyecto regional Desk, CONCYTEC, 2004):

Para minería aluvial:

- Recirculación de Agua
- Coagulación, Floculación; sistemas de clarificación de agua
- Procesamiento Hidrometalúrgico de Concentrados Gravimétricos (Molienda y Cianuración CIP, Molienda, Lixiviación CIP, RIP, con Tiourea, Tiosufato, Yodo, Lixiviación con Activación mecánica, Filtración, Electrodeposición Directa, y Enriquecimiento, Fundición, Lixiviación de Relaves, entre otros).
- Retratamiento de Relaves de Amalgamación
- Reconstitución del Suelo, Recirculación de Agua, Circuito sin Mercurio, Recuperación de Minerales Pesados
- Aprovechamiento de Minerales Pesados
- Reforestación y/o aprovechamiento agrícola de los suelos reconstituidos
- Manejo y Almacenamiento de Relaves.

Para minería de veta o filón:

Planta Comunal de Procesamiento o/y planta asociativa o individual, con los siguientes procesos:

- Molienda, Concentración gravimétrica, Amalgamación y Retorta (proceso hasta el 2018)
- Molienda, Concentración gravimétrica, Desaguado, Vat Leaching
- Molienda, Concentración en Seco, Peletización y Vat Leaching
- Molienda, Cianuración CIP
- Molienda, Lixiviación CIP, RIP, con Tiourea, Tiosufato, Yodo entre otros.
- Lixiviación con Activación mecánica, Filtración, Electrodeposición directa.

En todos los casos, un buen tratamiento de residuos y/o efluentes del sitio minero, garantizara la eliminación o reducción de metales tóxicos, incluido el mercurio, seguir dispersándose en el ambiente.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del sector minero de oro y carbón, objeto de este proyecto, debe estar fundamentado en estrategias que conlleven a la tecnificación del sector en todas las escalas de extracción y beneficio; esta tecnificación debe abarcar los diferentes procesos que intervienen en este sector.

La base de establecer mejores prácticas o acciones para optimizar la demanda de recursos en el sector, al igual que en todos los sectores de producción industrial del país, es la capacitación del recurso humano que hace posible el manejo de las operaciones; esto es lo que marcará el éxito de la implementación de cualquier estrategia, por este motivo es importante abrir la participación de entidades que contribuyan al mejoramiento de la estructura de conocimiento de los procesos y operaciones involucradas en este sector productivo del país.

Las minas visitadas en este estudio, presentan deficiencias técnicas en el manejo adecuado del recurso hídrico, igualmente se requiere de una formación conceptual en el minero, sea cual fuere la escala de producción, para que pueda abordar de manera razonable y lógica las diferentes estrategias e inversiones que se requieren para optimizar la demanda y los vertimientos de sus Unidades de Producción Minera.

Entre las estrategias establecidas en la demanda del recurso hídrico, es importante estructurar de forma adecuada el sistema de captación de agua, complementado con estructuras de aforo para definir la cantidad captada, corrección de fugas en el proceso, establecer modelos de recirculación de agua, establecer estructuras de almacenamiento para agua, reducir consumos asociados a labores domésticas, entre otras; esto permitirá reducir el consumo percapita por UPM.

En este mismo sentido, en la medida que se reducen los consumos del recurso hídrico, como una estrategia que permite minimizar este aspecto ambiental de entrada al proceso; también se estaría minimizando los volúmenes de carga contaminante

Los perfiles de núcleos sedimentarios colectados en diferentes zonas auríferas del país ponen de manifiesto el uso del Hg en la minería, en especial en áreas de los departamento de Bolívar, Antioquía, Choco y Cauca, pero en Caldas (área de Marmato), aunque hay un pico reciente y su posterior disminución, la información de campo corrobora que ya no se usa el proceso de amalgamación en el beneficio del oro.

Adicionalmente, los perfiles ponen de manifiesto, la liberación de otros elementos tóxicos en los procesos mineros, lo que también, además del Hg, representan una grave amenaza para la salud humana y ambiental, no solo alrededor de las zonas de minas,

sino a sitios distantes, debido a que estos elementos tiene la particularidad de transportarse a largas distancias desde las fuentes de emisión. Asimismo, la disminución de las concentraciones de Hg en algunos perfiles, ponen de manifiesto la posibilidad de la efectividad de las políticas de reducción del mercurio en forma positiva, en especial en áreas de los departamentos de Caldas y Cauca, donde se ha verificado con la información recolectada en campo.

Teniendo en cuenta los modelos conceptuales de la dispersión o distribución del mercurio en el ambiente para las zonas seleccionadas, las concentraciones allí establecidas en las diferentes matrices ambientales, evidencian el alto grado de contaminación generado por este metal, y es sin duda la principal fuente de emisión los procesos mineros que utilizan la amalgamación y aquellos que utilizan otras tecnologías (cianuración) pero que procesan arenas de amalgamación ricas en mercurio. Desafortunadamente, gran parte del mercurio es encontrado en suelos de cultivos, en agua de consumo humano, y en peces, convirtiéndose en una amenaza o riesgo para la salud humana, a través de la ingesta de los alimentos y agua contaminada, no solo con mercurio, sino con otros elementos tóxicos como el plomo y arsénico que también se liberan en el proceso minero, ya que en muchos yacimientos se encuentran asociados al material aurífero como galena y arsenopirita. Los modelos de evolución temporal, muestran que en algunas zonas, como en el Cauca y Caldas, las políticas sobre eliminación del proceso de amalgamación ha generado sus frutos por la disminución de las concentraciones de mercurio en los sedimentos, sin embargo, no ocurre lo mismo en áreas de los departamento de Bolívar y Antioquía.

Existen estrategias que pueden aplicarse para la disminución de la contaminación con mercurio, siendo en primer lugar, el tratamiento integral de los residuos mineros (sólidos y líquidos), incluyendo la retorta (cuando aún se utiliza el mercurio), y en segundo lugar, la caracterización de los materiales auríferos para establecer el mejor proceso de extracción del material precioso sin utilizar el proceso de amalgamación.

7. RECOMENDACIONES

Las políticas de gestión del estado, en el sector minero, para la adecuada implementación de las estrategias de manejo óptimo de la demanda del recurso hídrico, sin que entre en controversia con el desarrollo sostenible, se deben enfocar en legislar y establecer normatividades que permitan reinvertir parte de los recursos de regalías en el apoyo logístico y tecnológico a los mineros de subsistencia, de pequeña y mediana escala de explotación y beneficio.

Aunque existen algunos beneficios tributarios y se hacen aportes a través de Colciencias para estudios e innovación, estas alternativas se deben direccionar mejor hacia el sector minero; a través de convocatorias que sirvan de escenario a los mineros para acceder a recursos que le permitan mejorar sus condiciones de extracción, con capacidad de aportar elementos y equipos tecnológicos que los mineros favorecidos a través de estas convocatorias puedan acceder a la tecnología de manera permanente, aún después de finalizado el proyecto objeto de la convocatoria.

Con respecto a la formación técnica en el manejo de la demanda y el vertimiento del recurso hídrico, se debe establecer convenios con entidades como el SENA y Universidades que permitan servir de canales de desarrollo académico y científico de los procesos productivos del sector. Adicionalmente, se recomienda la reactivación de los Centros Minero Ambientales ubicados estratégicamente en el país, complementados con plantas pilotos que permitan realizar a este nivel los ensayos de mejora del proceso productivo.

Se hace necesario seguir con programas de monitoreo sobre los procesos mineros, y de concentraciones ambientales del mercurio y metilmercurio, todo esto acompañado de estrategias de educación ambiental al minero y a la población en general.

Se debe implementar o establecer tecnologías para el tratamiento de los diferentes residuos (sólidos y líquidos) del proceso minero que sean aplicables a los diferentes tipos de minería derivada del tipo de yacimiento, con la debida transferencia tecnológica al sector. Adicionalmente, se debe seguir con un programa de implementación de tecnologías para el uso racional y eficiente del agua en el sector minero.

Se debe hacer una caracterización de los yacimientos auríferos en el país para establecer cual o cuales son los mejores procesos para la recuperación del oro, que no utilicen mercurio, que le proporcione mayores beneficios a los mineros o a las empresas mineras.

BIBLIOGRAFIA

Australian Goverment. (2011). LEADING PRACTICE SUSTAINABLE DEVELOPMENT PROGRAM FOR THE MINING INDUSTRY. Deparment of Resources, Energy and Tourism.

Bian, Z., Inyang, H., Daniels, J., Otto, F., & Struthers, S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. Mining science and technology(20), 215-223.

Franco Sepúlveda, G., Branch Bedoya, J. W., & Jaramillo Álvarez, P. (julio de 2012). PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA. Boletín Ciencias de la Tierra(31), 107 - 113.

Gobierno de peru. (s.f.). Minem . Obtenido de http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50?jjsrzfumynkbzriq?gdeihvxbceiqgdxl

Green, C. (2003). Water Economics, Principles and Practice.

Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 236-244.

Hooman, K., & Maas, U. (2014). Theoretical analysis of coal stockpile self-heating. Fire Safety Journal(67), 107-112.

ISO. (2008). Norma Internacional ISO 9001.

MinMinas. (2002). Guía Minero Ambiental 2 Explotación.

MinMinas. (2003). Guía Minero Ambiental 3 Beneficio.

Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). Prácticas para suprimir el polvo. Minería Chilena.

Schlumberger . (2007). Fundamentos de Mojabilidad. Oilfield Review.

Universitat Politecnica de Catalunya. (s.f.). Procesamiento sostenible del oro en San Cristóbal. .

UPME. (2004). PLAN DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE Y PORTUARIA PARA EL DESARROLLO MINERO EN COLOMBIA. CARACTERIZACION DISTRITOS MINEROS.

UPME. (2005). La Cadena del carbón.

UPME. (2005). La cadena del carbón . Bogotá.

UPME. (s.f.). Manejo Ambiental Fase de Operación. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm

Transferencia de tecnologías limpias para el sector de la minería de pequeña escala, Proyecto regional Desk, CONCYTEC, 2004