# Construcción de un sistema que integra exploradores de energía solar y de biomasa residual agrícola desarrollados en este estudio para Colombia y Chile

Producto A: Base de datos de las comunidades y territorios de estudio

INFORME 1
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

# Entidades participantes

## Alemania

*GIZ sede en Colombia*
Alicia Gonzalves
*GIZ sede en Chile*
María Ignacia Jiménez
*Fraunhofer sede en Chile*

## Chile

**Ministerio de Energía**
Camila Vásquez
Christian Malebran
Diego Valdivia
Katherine Navarrete
Danilo Jara

**Universidad de Chile**
Rodrigo Palma
Marcia Montedónico
Manuel Díaz

**Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo de Chile (AGCID)**
Ignacio Rodríguez
Fabiola Viera

## Colombia

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente)**
Carlos Mauricio Silva
Daniela Villalba

**Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía)**
Carolina Garzón
Juan Camilo Acevedo
Isleany Angulo
Lynda Sandoval
Jairo Valencia
Oscar Galvis
Yuly Barrientos
Catalina Camargo
Kevin Reyes

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura)**
Sara María Campos
Teresa Hernández
Isabel Cárdenas
Nelson Lozano
María Margarita Soto
Otto Emil Vila Flórez

**Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)**
Fredy Montealegre
Yesenia Vargas

**Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)**
Héctor Herrera
Leyla Montenegro

**Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia (APC)**
Luz Ángela Losada
Claudia Yepes
Carolina González
Laura Cadavid

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)**
Henry Benavides
Ana Cecilia Salinas

**Universidad de los Andes**
Facultad de Ingeniería

# Equipo de trabajo – Universidad de los Andes

**Directora de proyecto:**

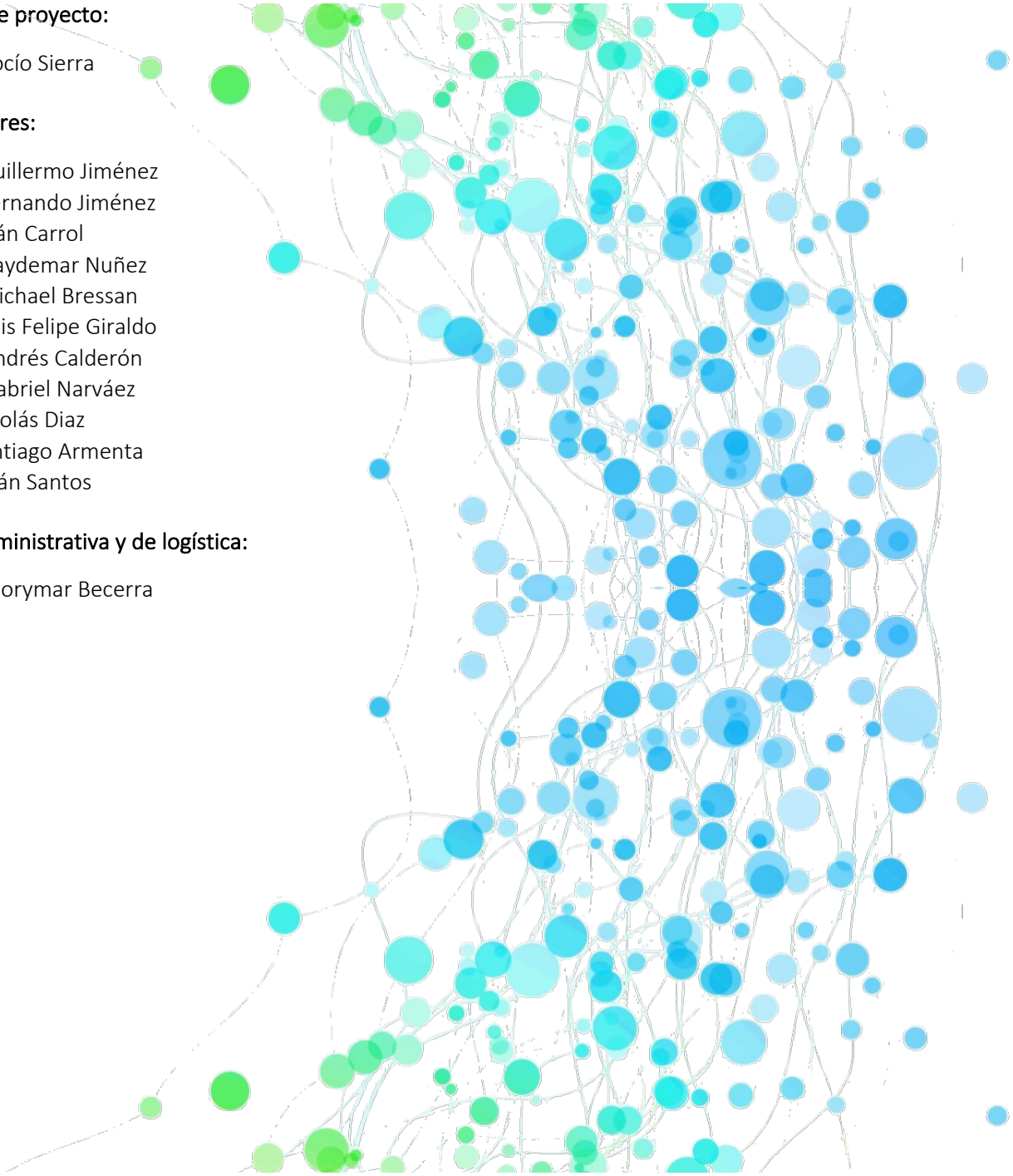
PhD. Rocío Sierra

**Investigadores:**

PhD. Guillermo Jiménez
PhD. Fernando Jiménez
PhD. Iván Carrol
PhD. Haydemar Nuñez
PhD. Michael Bressan
PhD. Luis Felipe Giraldo
MSc Andrés Calderón
MSc. Gabriel Narváez
Ing. Nicolás Diaz
Ing. Santiago Armenta
Sebastián Santos

**Gestora administrativa y de logística:**

MSc Norymar Becerra



# Tabla de contenido

1. Conceptos básicos : Análisis multicriterio ..... 9
2. Análisis y caracterización de planes de recuperación ..... 9
2.1. Proyecto de Desarrollo con Enfoque Territorial -PDET ..... 10
2.2. Antecedentes del atlas solar colombiano ..... 10
2.3. Agricultura y zonas protegidas en Colombia ..... 12
3. Caracterización y priorización de indicadores socioeconómicos y físicos para la selección de territorios vulnerables ..... 13
3.1. Cobertura de acueducto ..... 13
3.2. Índice de Cobertura de Energía Eléctrica - ICEE ..... 13
3.3. Rendimiento promedio de cultivos ..... 14
3.4. Tasa de deserción intra-anual del sector oficial ..... 14
3.5. Índice de Informalidad ..... 14
3.6. Casos positivos COVID-19 ..... 15
3.7. Casos de muertes COVID-19 ..... 15
3.8. Biomasa sobre el suelo ..... 15
3.9. Índice de vegetación NDVI ..... 15
3.10. Porcentaje de nubosidad ..... 16
3.11. Irradiación solar ..... 16
4. Desarrollo de una aproximación metodológica para la priorización de territorios vulnerables ..... 16
5. Resultados y conclusiones ..... 19
5.1. Selección de los factores de peso del modelo y análisis multicriterio para la selección de la zona de estudio ..... 25
6. Referencias bibliográficas ..... 27
ANEXOS ..... 29
ANEXO 1 ..... 30
Descripción de los anexos digitales ..... 30
ANEXO 2 ..... 31
Comentarios y sugerencias de entidades ..... 31

ANEXO 3 ..... 37

Minutas de reuniones con entidades ..... 37

ANEXO 4 ..... 49

Listado de municipios PDET de los ocho departamentos con mayor promedio en el índice de potencialidad ..... 49

ANEXO 5 ..... 51

Caracterización del Departamento del Bolívar ..... 51

ANEXO 6 ..... 54

Caracterización del Departamento del Cesar ..... 54

ANEXO 7 ..... 57

Caracterización del Departamento del Putumayo ..... 57

# Lista de figuras

Figura 1. Distribución porcentual de los principales cultivos en Colombia. ..... 12
Figura 2. Diagrama esquemático de la metodología propuesta ..... 19
Figura 3. Índice de potencialidad propuesto ..... 21
Figura 4. Índice de potencialidad agregado por municipios ..... 22
Figura 5. Índice de potencialidad filtrado por municipios ..... 23
Figura 6. Modelo QGIS con la implementación de la metodología ..... 24
Figura 6. Comparativo entre las áreas sembradas de los cultivos más importantes en del Departamento del Bolívar y los 13 municipios PDET seleccionados en este departamento (promedios de 2021)..... 52
Figura 7. Comparativo entre las áreas sembradas de los cultivos más importantes en del Departamento del Cesar y los 8 municipios PDET seleccionados en este departamento (promedios de 2021) ..... 55

# Lista de Tablas

Tabla 1. Los 20 municipios PDET con mejor puntación en el índice de potencialidad ..... 26
Tabla 2. Comentarios y sugerencias de las entidades que te tomaron en cuenta en este entregable-Producto A-Base de datos de las comunidades y territorios de estudio ..... 31
Tabla 3. Listado de municipios PDET de los ocho departamentos con mayor promedio en el índice de potencialidad ..... 49
Tabla 4. Datos relevantes (promedios 2021) para cada municipio seleccionado en el Departamento del Bolívar ..... 53
Tabla 5. Datos relevantes (promedios 2021) para cada municipio seleccionado en el Departamento del Cesar ..... 56
Tabla 6. Detalles de los cultivos principales en el departamento de Putumayo ..... 58

# Resumen Ejecutivo

El objetivo general del presente proyecto de Cooperación Triangular entre Alemania, Colombia y Chile es ***construir un sistema que integra exploradores de energía solar y de biomasa residual agrícola que se desarrollan en este estudio, para una zona seleccionada en Colombia, identificando también el potencial uso energético solar en techos fotovoltaicos, todo a partir de importantes intercambios de información con la Universidad de Chile. Se usarán estrategias de modelamiento GIS con imágenes satelitales, se divulgarán los resultados a entidades gubernamentales colombianas y se planearán estrategias para futuros desarrollos e interacciones Colombia-Chile.***

## Productos

Los productos comprometidos en este estudio se listan a continuación:

*A. Base de datos de las comunidades y territorios de estudio*
*B. Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola*
*C. Explorador solar en Colombia sobre la base de las experiencias y desarrollos técnicos alcanzados en Chile*
*D. Sistema que integra los exploradores de energía solar y de biomasa residual agrícola desarrollados para Colombia y Chile*
*E. Prueba de concepto del aprovechamiento de energía solar en techos solares fotovoltaicos*
*F. Estimación de indicadores de impacto de los desarrollos tecnológicos en las áreas de estudio seleccionadas*
*G. Estrategia para la continuación, expansión y transferencia de tecnología*

## Producto A: Base de datos de las comunidades y territorio de estudio

Se destaca que este documento corresponde a la entrega final del producto A. Las actividades desarrolladas se describen así:

- Análisis y caracterización de los planes de recuperación (ver Sección 2).
- Caracterización y priorización de los indicadores socioeconómicos requeridos para la selección de los territorios vulnerables (ver Sección 3)
- Desarrollo de una aproximación metodológica para la priorización de territorios vulnerables (ver Sección 4)

Además de este documento, se hace entrega de la herramienta desarrollada.

La metodología para los desarrollos técnicos se basó en el uso de sistemas de información geográfica que se conectan directamente a bases de datos geográficas (*geodatabases*) creadas en este estudio (ver los datos seleccionados en la Sección 3), las cuales permiten la carga de los mapas georreferenciados desarrollados. Esto le da al sistema la flexibilidad necesaria para reflejar cualquier cambio en la

geodatabases y, de ser necesario, la adición de nuevas capas en contextos posteriores a este estudio. Igualmente, permite a los usuarios registrados la asignación de pesos o puntajes para cada una de las capas disponibles de acuerdo a la importancia que cada uno de ellos considere pertinente. Al ser una aplicación web, se permite la inclusión de un grupo diverso de actores como es el caso de este proyecto de cooperación triangular. En la Sección 4 se explica el detalle técnico de la metodología.

## Resultados del producto A

Como primer resultado de esta investigación se ha consolidado una base de datos georreferenciada de indicadores socio-económicos y variables físicas relacionadas a la identificación de zonas de interés para la implementación de soluciones de energía alternativa usando recursos de biomasa y solar, esta base de datos está disponible para todas las entidades participantes.

Un segundo resultado se obtuvo a partir de la información recopilada y utilizando la metodología ya descrita a grandes rasgos (ver detalles en la Sección 4). Se obtuvieron índices de potencialidad que fueron agregados (promediados) por municipios y filtrados para resaltar a los municipios PDET y descartar las zonas ambientalmente protegidas del territorio colombiano. De este trabajo resultó un listado de municipios que puede organizarse de mayor a menor de acuerdo al valor del índice de potencialidad, pudiendo así priorizar a los municipios más vulnerables.

Este listado fue sometido a un riguroso análisis de multicriterio que se describe en la Sección 5 y permitió delinear la zona de estudio, la cual comprende:

- Un total de 13 municipios del Departamento de Bolívar, que ocupan un área de 1.232.000 Ha (47% de la extensión total del departamento). De estos municipios, 7 están al norte del departamento y 6 están al sur. El índice promedio de potencialidad es de 0,3627 y es el tercer promedio departamental más alto obtenido en este estudio.

- Un total de 8 municipios del Departamento de Cesar, que ocupan un área de 1.052.100 Ha (47% de la extensión total del departamento). Estos municipios están ubicados al norte del departamento y en promedio tienen un índice de potencialidad de 0,3726. Este es el segundo promedio departamental más alto obtenido en este estudio.

Los resultados que aquí se presentan fueron desarrollados por la Universidad de los Andes, con la participación de las entidades arriba mencionadas a través de comentarios y sugerencias (ver todas las actas de reunión adjuntas en el Anexo 3). En el Anexo 2 se resumen los comentarios obtenidos después de haber entregado una versión preliminar de este informe. En la Sección 5 se discute la manera como todos los comentarios recibidos se implementaron e impactaron los resultados obtenidos en este proyecto.

# 1. Conceptos básicos : Análisis multicriterio

Esta sección es una revisión de literatura y se ha incluido para explicar generalidades respecto al análisis multicriterio. Más adelante en la Sección 5, se especifica la manera como estos conceptos se han implementado en el presente trabajo.

El uso de información georreferenciada y técnicas de análisis espacial se ha convertido en una opción viable, rápida y económica para la evaluación del potencial de diversos recursos que demandan una visión holística y, en muchas ocasiones, interdisciplinaria. Por ejemplo, numerosos estudios han demostrado la utilidad de información georreferenciada a la hora de determinar potenciales ubicaciones para la implementación y despliegue de proyectos de energías renovables como granjas solares y eólicas y plantas procesadoras de biomasa [5, 2, 9]. Igualmente, estas técnicas se han utilizado para estudiar fenómenos tan diversos como las variaciones espaciales en la economía ambiental y de recursos y la identificación de hábitats naturales y conservación ecológica [3, 7].

Una de las grandes contribuciones del análisis basado en geodatos es la oportunidad de procesar información proveniente de múltiples fuentes como soporte a la toma de decisiones [11, 8]. Por lo general, la evaluación de las ubicaciones más idóneas para la puesta en marcha de una solución en particular demanda la combinación de múltiples factores y la participación interdisciplinaria de todos los involucrados. Es ahí donde las técnicas espaciales como el solapamiento ponderado de capas y la lógica difusa (con miembros ) juegan un papel determinante. Estas técnicas permiten la asignación de pesos a cada aspecto del análisis, representado en la forma de mapas, y la combinación de dichos pesos para la generación de un mapa que resume el potencial de fenómeno estudiado. Este tipo de análisis multi- criterio permite a los participantes asignar la importancia que consideren pertinente a cada aspecto del estudio y ponderar las alternativas disponibles para la identificación de aquellas regiones con mayor potencial de éxito [10].

Dichas técnicas han demostrado muy buenos resultados en diferentes ámbitos. Por ejemplo, [6] [9] muestra la puesta en práctica de técnicas de lógica difusa para la identificación y mitigación de áreas con alto riesgo de deslizamiento de tierras. Un estudio similar provee una evaluación del potencial de contaminación por arsénico usando una aproximación espacial anisotrópica y solapamiento ponderado en las regiones circundantes a minas de hierro [14]. Igualmente, [4] integra la aplicación de lógica difusa, métodos de optimización y el uso de sistemas de información geográfica en la evaluación del impacto ecológico durante la construcción de autopistas en comunidades rurales y ecosistemas naturales. Dicha implementación permitió la interacción permanente entre expertos e interesados y una fluida alternativa de resolución de conflictos.

# 2. Análisis y caracterización de planes de recuperación

Un importante resultado de este trabajo es la adecuada caracterización de las zonas de estudio a seleccionar, ya que es con base en la caracterización que se podrán evaluar (en entregas posteriores) la pertinencia e impactos de los desarrollos de este trabajo y establecer los planes de recuperación. Es por

esta razón que para la selección de la zona de estudio se han identificado cuidadosamente indicadores socioeconómicos clave. Estos indicadores se discuten con detalle en la Sección 3.

De la misma manera, en esta sección se presenta el estado del arte al momento de dar inicio al proyecto, el cual afectó o podría afectar las decisiones y resultados que se presenten en este y otros entregables. La discusión se divide en tres partes: la definición y desarrollos previos respecto de los municipios PDET (Sección 2.1), desarrollos previos en el tema solar (Sección 2.2) estado del arte en el tema agrícola y de áreas protegidas en Colombia (Sección 2.3)

## 2.1. Proyecto de Desarrollo con Enfoque Territorial -PDET

Los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) son un instrumento de planeación y gestión que, en el marco del Acuerdo de Paz, buscan transformar los territorios más afectados por el conflicto armado, la pobreza, la debilidad institucional y la presencia de cultivos de uso ilícito[1].

Como apoyo al fortalecimiento del Programa Colombia Sostenible con los Proyectos de Desarrollo con Enfoque Territorial -PDET a través del uso del Laboratorio FabSpace de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes se obtuvieron 1260 mapas utilizando imágenes Sentinel 2 del Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea por medio de la aplicación de índices de cobertura con los cuales se creó una línea base del año 2020 que posteriormente en el año 2025 se comparará para determinar los efectos de la implementación de los proyectos de desarrollo en subregiones del país donde se ubican los PDET. Este proyecto fue realizado en conjunto con la Facultad de Economía de la Universidad de los Andes y la Universidad de Antioquia.

Adicionalmente, atendiendo el Objetivo de Desarrollo Sostenible – ODS 11 sobre ciudades y comunidades sostenibles, se aplicó un índice de funcionalidad ecológica del suelo mediante inteligencia artificial en imágenes Sentinel 2 para alertar a tomadores de decisiones, principalmente alcaldes, de 50 ciudades de América Latina y el Caribe sobre la baja calidad de vida, el crecimiento acelerado y la reducción en el acceso a zonas verdes de algunas urbes. Esta investigación está en curso de ser publicada y presentada.

## 2.2. Antecedentes del atlas solar colombiano

Colombia recibe abundante radiación solar con una media de 4.5 kWh/m$^2$, por encima de la media mundial de 3.9 kWh/m$^2$. Esta radiación solar media se mantiene casi constante durante todo el año, lo que convierte a Colombia en un lugar ideal para implementar proyectos solares fotovoltaicos [1]. Desde el año 2014, el gobierno colombiano ha puesto en marcha una ley[2] para estimular la implantación de sistemas fotovoltaicos a pequeña y gran escala mediante la concesión de incentivos fiscales por intermedio del Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) . Sin embargo, a pesar de los esfuerzos del gobierno por promover las instalaciones fotovoltaicas la falta

[1] https://serviceweb.renovacionterritorio.gov.co/artdev/media/temp/2022-11-29_114636_1315189334.pdf
[2] Ley 1715. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia. Disponible en http://www.upme.gov.co/

de una base de datos de información meteorológica sólida y de fácil acceso dificulta la realización de análisis de viabilidad de las instalaciones fotovoltaicas y la evaluación de su capacidad energética.

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) proporciona mediciones in situ de datos meteorológicos. Sin embargo, hay pocas estaciones meteorológicas en el territorio colombiano y la calidad de los datos se ve afectada por la falta de mantenimiento y calibración de los sensores. Aunque algunos sitios web intentan proporcionar estimaciones de la producción fotovoltaica, no existe una herramienta especializada que tenga en cuenta las necesidades del país, los requisitos del usuario y el idioma nativo de éste. Por lo tanto, una herramienta que tenga en cuenta estos requisitos podría impulsar los proyectos de energía solar fotovoltaica en el país.

Para resolver este problema, se creó una herramienta web interactiva que permite visualizar datos meteorológicos y evaluar el potencial actual y futuro de generación fotovoltaica en todo el territorio colombiano. Esta herramienta, llamada Atlas Solar Colombiano[3], se basa en dos bases de datos meteorológicos: una con datos históricos extraídos de la información de imágenes satelitales y otra con datos de modelos de proyección del cambio climático. Además, el atlas cuenta con dos modelos de generación fotovoltaica, uno básico y uno avanzado, que permite estimar la generación de una instalación solar fotovoltaica, de acuerdo con las necesidades del usuario. El Atlas proporciona un mapa interactivo que muestra:

Datos históricos para el periodo comprendido entre 1998 y 2019 obtenidos del National Renewable Energy Laboratory: irradiación global horizontal, irradiación normal directa, irradiación difusa horizontal, ángulo cenital solar, velocidad del viento y temperatura ambiente. Esta base de datos fue validada con mediciones in situ proporcionadas por el IDEAM.

Datos de escenarios de cambio climático a escala regional para el periodo 2070-2099 obtenidos del Coordinated Regional Downscaling Experiment: irradiación global horizontal, velocidad del viento y temperatura ambiente bajo dos escenarios de cambio climático.

Una calculadora de generación fotovoltaica que permite a los usuarios estimar la posible potencia fotovoltaica generada por un sistema fotovoltaico personalizado en una ubicación específica. Un modelo básico proporciona parámetros por defecto para el sistema fotovoltaico, y todos los parámetros fotovoltaicos pueden personalizarse a través del modelo avanzado.

Esta herramienta interactiva permitirá a los inversores evaluar el potencial actual y futuro de generación fotovoltaica en cualquier lugar de Colombia. Se trata de la primera herramienta interactiva en línea que permite a los usuarios estudiar el potencial de energía fotovoltaica en Colombia a partir de una sólida base de datos y teniendo en cuenta las proyecciones del cambio climático.

[3] Disponible en http://162.240.212.193:3000

## 2.3. Agricultura y zonas protegidas en Colombia

Colombia tiene una superficie total de 114.174.800 Ha (terrestre y marítima) de la cual el 5% es cultivada. Los cultivos son muy variados. En la Figura 1 se muestra la distirbución de los principales cultivos[5], otros importantes pero con menor superficie cultivada son el plátano, banano, cítricos, otros frutales, legumbres, hortalizas, cereales y tubérculos. Hasta el tercer trimestre de 2022, el PIB total de Colombia era de COP714.418 del cual la participación del sector agrícola es solamente el 5%[4]; sin embargo, la actividad agrícola es una de las más importantes en el pais. Entre los departamentos más destacados por la extensión de los cultivos y la productividad, se encuentran Meta, Antioquia, Tolima, Valle del Cauca, Santander, Huila, Casanare, Nariño, Cundinamarca y Bolívar[5].

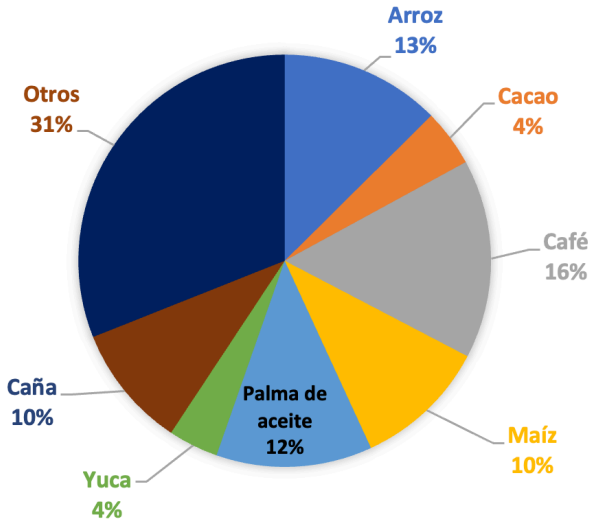



Figura 1. Distribución porcentual de los principales cultivos en Colombia.

Por otra parte, de acuerdo con el RUNAP (Registro Unico Nacional de Areas Protegidas) que está a cargo del SINAP (Sistema Nacional de Areas Protegidas), en Colombia hay una superficie total de 38.048.554 Ha en áreas protegidas correspondientes principalmente a reservas forestales de la sociedad civil, distritos regionales de manejo integrado, reservas forestales protectoras nacionales y regionales, parques nacionales naturales y distritos de conservación de suelos.[6]

[4] En millones de pesos corrientes de 2015. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica
[5] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.
[6] https://runap.parquesnacionales.gov.co/

# 3. Caracterización y priorización de indicadores socioeconómicos y físicos para la selección de territorios vulnerables

Se han seleccionado 7 indicadores socioeconómicos (3.1 a 3.7) que permiten comparar las zonas de estudio antes y después de los desarrollos tecnológicos producto de este trabajo. Estos indicadores tienen las siguientes carácterísticas:

1. Son numéricos, no cualitativos
2. Corresponden a información actualizada y oficial de alta calidad
3. Permiten identificar, con las limitaciones de tiempo y recursos del proyecto, a comunidades vulnerables por efectos de la pandemia COVID-19 y otros factores presentes en la realidad nacional

Por otra parte, también se incluyeron algunos indicadores de carácter físico (3.8 a 3.11), que permiten hacer una buena selección de zonas de estudio para las que pueda garantizarse el éxito en los desarrollos de biomasa y solar que se proponen obtener en este estudio.

Estos indicadores y su influencia en los cálculos de selección de la zona se pusieron a consideración de todas las entidades relacionadas a este estudio (ver Anexo 3, reunión del 14 de octubre) y considerando las sugerencias de algunas de las entidades colombianas que participan en este proyecto, se han incluido dos filtros: uno de los municipios PDET y otro sobre las zonas protegidas en el territorio nacional. Los detalles de la metodología se explican más adelante en la Sección 4.

## 3.1. Cobertura de acueducto

La cobertura del servicio de acueducto corresponde al porcentaje de predios residenciales con acceso al servicio de acueducto; entendiéndose como predios residenciales aquellos con estratos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y los predios aún no estratificados pero reconocidos por la alcaldía como residenciales. Esta cobertura se obtiene a través de la información consignada por los alcaldes en el "Reporte de Estratificación y Coberturas", dispuesto en el Sistema Único de Información del módulo alcaldes. La información fue recopilada desde el portal de Territata[7], una aplicación proveída por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia para la consulta estadística por parte de entes territoriales de indicadores sobre diversos sectores y temáticas.

## 3.2. Índice de Cobertura de Energía Eléctrica - ICEE

Este índice es calculado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) que mide la tasa de viviendas en sector residencial que tienen infraestructura eléctrica disponible y es proveído por el Sistema Interconectado Nacional o mediante soluciones aisladas dentro de las zonas nacionales de interconexión

[7] https://territata.dnp.gov.co/

(ZNI). El índice fue calculado con vigencia al 2018. El conjunto de datos fue recopilado desde la página web de la entidad[8].

## 3.3. Rendimiento promedio de cultivos

El rendimiento de cultivos es un indicador de la cantidad de toneladas producidas por hectárea para un cultivo particular. Esta información se obtiene a partir de las Evaluaciones agropecuarias municipales[9], que consisten en la recolección de información a través de formularios diseñados e implementados con un aplicativo web, con módulos para los cultivos transitorios, anuales o permanentes.

Esta operación fue desarrollada durante los meses de octubre a diciembre de 2020, recolectando información de 1099 municipios y 197 cultivos. En cuanto al procesamiento de datos, se obtuvo el rendimiento promedio para todos los tipos de cultivos presentes en cada municipio, priorizando el valor más reciente para cultivos transitorios y utilizando el valor anual para cultivos permanentes. Con respecto a los valores nulos, se utilizó el valor de -1 para aquellos municipios en los que no se tuviera información disponible. Los datos pueden ser descargados desde la aplicación web[10] proveída por la entidad.

## 3.4. Tasa de deserción intra-anual del sector oficial

La tasa de deserción intra-anual del sector oficial corresponde al porcentaje de estudiantes de educación básica y media (transición a once) que abandonan el sistema educativo antes de finalizar el año lectivo con respecto a la cantidad total de estudiantes matriculados a inicio del año. Esta información es recopilada por el Ministerio de Educación y disponible en Territata, una herramienta para fortalecer la gestión pública a partir de datos a nivel municipal, presentando indicadores estandarizados. Con respecto a los valores nulos, se utilizó el valor de -1 para aquellos municipios en los que no se tuviera información disponible.

## 3.5. Índice de Informalidad

El índice se calcula como el porcentaje de personas desocupadas informalmente con respecto a la población total. Este indicador también se encuentra disponible en Territata y representa el porcentaje de personas que no cuentan con un trabajo formal en cada una de las entidades territoriales con respecto a la población total de cada municipio mismo. Esta tasa calculada con información de la FILCO (Ministerio del Trabajo) y resulta como el complemento del indicador "Porcentaje de personas ocupadas

[8] https://tinyurl.com/5hduxcnw
[9] https://www.upra.gov.co/web/guest/eva-2020
[10] https://tinyurl.com/yp4jmv9n

formalmente con respecto a la población total" (P. Formal) y se define de tal manera según la entidad citada:

$$P.Informal = 1 - P.Formal$$

## 3.6. Casos positivos COVID-19

Los casos positivos de COVID corresponden a la relación entre población municipal en la cual dio positivo a una prueba de COVID-19 y la totalidad de la población en cada municipio para los años 2019-2022. Se entiende como caso positivo como aquel individuo al que se le realiza una prueba para el COVID-19 y está genere un resultado positivo.

## 3.7. Casos de muertes COVID-19

Las muertes causadas por COVID corresponden a la relación entre población municipal en la cual la causa de muerte fue por COVID-19 y la totalidad de la población en cada municipio para los años 2019-2022. Se entiende como muerte por COVID-19 como aquel individuo al que luego de su muerte se estudia su causa y se descubre que es debido al virus. Las capas referentes a casos positivos y muertes por COVID-19 se obtuvieron a través del portal de datos abiertos del gobierno Colombiano[11].

## 3.8. Biomasa sobre el suelo

El proyecto GlobBiomass [12, 13] de la Agencia Espacial Europea ha recopilado datos y provee conjuntos de libre descarga con información referente al volumen de biomasa en bosques y la métrica de biomasa por encima del suelo, conocida como AGB, para el año 2018. El AGB se refiere a la masa expresada como peso seco de las partes arbóreas de toda especie vegetal viva a excepción de sus raíces. Sus unidades se miden en toneladas por hectárea (Mg/ha) y la resolución espacial de este conjunto es de 1 $Km^2$.

Se descargaron dos conjuntos de datos que cubrían el área de Colombia. Usando los polígonos correspondientes para el país se recortaron las áreas necesarias de cada conjunto y se unieron posteriormente para conformar un referente de AGB para todo el territorio nacional.

## 3.9. Índice de vegetación NDVI

El índice de diferencia normalizada de la vegetación (NDVI) es un indicador de la vitalidad de la flora presente en un área determinada. Este se calcula a partir de las bandas infrarrojas y el espectro correspondiente al rojo que suministran diversos sensores de satélite. El rango de valores oscila entre 0 y 1 donde los valores más altos indican vegetación más saludable. El programa Copérnico de la Unión Europea, a través del portal Copernicus Global Land Service[12], provee imágenes globales de NDVI para

[11] https://tinyurl.com/mpz437su
[12] https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi

todos los meses del año después de promediar diferentes muestras tomadas por el satélite PROBA-V durante el periodo de 2015 al 2019. La resolución espacial de los conjuntos de datos es de 1 $Km^2$.

Para este estudio se tomaron una imagen para cada mes del producto Short Term Statistics Versión 3. Las imágenes se recortaron de acuerdo a la zona de estudio y se promediaron las 12 imágenes resultantes para obtener un promedio anual representativo del índice NDVI para el territorio colombiano. El portal para la descarga de imágenes y conjuntos de datos se puede acceder a través de su sitio web[13].

### 3.10. Porcentaje de nubosidad

El proyecto EarthEnv [15] es un esfuerzo colaborativo entre diversos expertos para desarrollar un conjunto de datos de escala global con capas de resolución de 1 $Km^2$ para monitorear y modelar los ecosistemas, biodiversidad y clima. El trabajo fue soportado por NCEAS, NASA, NSF y la Universidad de Yale.

Para el caso del porcentaje de nubosidad se promediaron las frecuencias mensuales dentro de un periodo de 15 años (2001-16) de dos muestras diarias de los satélites MODIS. Del conjunto global se extrajo el área correspondiente a Colombia con valores entre 4000 y 10000 unidades. Estos valores deben ser divididos por 100 para indicar el valor porcentual del número de días con nubosidad al año. El conjunto de datos global puede ser descargado desde la página web del proyecto[14].

### 3.11. Irradiación solar

El Banco Mundial a través de su catálogo de datos[15] distribuye diferentes capas alusivas a variables de energía solar, entre ellas el índice de irradiación global horizontal (GHI). Este recurso fue desarrollado por SolarGIS (solar- gis.com) y se provee por medio del Atlas Solar Global[16]. Los valores de GHI se miden en $kWh/m^2$ con una resolución espacial nominal de 250 m. A través del portal web del atlas global se permite descargar conjuntos específicos para cada país por lo que solo fue necesario ajustar los límites y tamaño de píxel de este conjunto para coincidir con aquellos de los demás indicadores.

## 4. Desarrollo de una aproximación metodológica para la priorización de territorios vulnerables

Para la selección de un conjunto de ubicaciones idóneas para la implementación de las soluciones propuestas se decidió seguir un enfoque de selección multi-criterio soportado en operaciones de lógica difusa. El diagrama de la Figura 2 ilustra esquemáticamente los pasos de la metodología propuesta. Esta metodología puede dividirse en tres partes para su explicación. Primero, un conjunto de capas es preparado a partir de una serie de indicadores socio-económicos y físicos. Luego, dichas capas son

[13] https://tinyurl.com/mpz437su
[14] http://www.earthenv.org/cloud.html
[15] https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0038645
[16] https://globalsolaratlas.info/download/colombia

transformadas para estandarizar su magnitud y dimensiones. Finalmente, se asigna un peso a cada capa de acuerdo a su importancia y se aplica una operación de agregación sobre todas las capas para consolidar un único resultado. A continuación, se explica en más detalle los pasos seguidos en cada parte de la metodología.

En la Sección 3 se establecieron las fuentes de datos de los indicadores tenidos en cuenta dentro de esta metodología. En la primera parte, se hizo necesario hacer cierto tratamiento en cada una de ellas. En particular, todas las capas referentes a indicadores socio-económicos se obtuvieron en un esquema tabular, esto es una tabla donde aparece el valor *numérico* de cada indicador, junto con otras variables relacionadas al fenómeno, a nivel de los municipios de Colombia. Se tuvo en cuenta el código DANE de cada municipio junto con el valor relacionado a la variable en cuestión. Posteriormente, se ejecutó un cruce de datos entre la información extraída y el mapa oficial DANE para georreferenciar los datos y generar una vista de la distribución geográfica del indicador. De esta manera se obtienen una serie de mapas que ilustran la composición del indicador para cada municipio.

Para las variables físicas también se hizo necesario aplicar ciertas operaciones espaciales para ajustar los conjuntos de datos iniciales a las condiciones del área de estudio. Por lo general, para estos casos, los estudios son de carácter global, por lo que se requería extraer los datos solo para el territorio colombiano. Según el caso, fue necesario aplicar operaciones de agregación espacial (si los datos para Colombia se presentaban en más de una fuente) o temporales (si se proveían datos a nivel mensual y lo requerido eran promedios anuales). Visualizaciones de los mapas obtenidos en esta etapa están disponibles como anexos digitales a este informe dentro de la carpeta mapas.

Para la segunda parte de la metodología, se requiere que todas las capas se encuentren en una versión raster de idénticas dimensiones, esto es una imagen con igual número filas y columnas donde el valor de cada píxel sea el valor del indicador que representa. En esta etapa, se aplicaron operaciones espaciales a las capas de indicadores socio-económicos para convertir su versión vectorial (polígonos representando cada municipio) a capas raster. Como dimensiones específicas se seleccionó un área de 1666 columnas por 1972 filas que cubre la extensión del mapa oficial DANE usando un sistema de coordenadas EPSG:3857 (Pseudo-Mercator). La resolución espacial obtenida fue de aproximadamente 1 $Km^2$. Se re- proyectaron y se ajustaron todas las capas (incluyendo las variables físicas) a dichas dimensiones y al sistema de coordenadas mencionado para permitir su análisis en unidades de metros.

Para permitir la aplicación de una función de agregación todas las capas deben ser tratadas para transformar sus valores y rango de datos a un estándar común. La lógica difusa provee una serie de funciones de membresía que permiten escalar los datos de 0 a 1 donde el usuario puede especificar valores a priorizar y diversas clases de curvas para transformar los datos. La membresía lineal es la más sencilla de las funciones y se corresponde a una normalización típica. *Dadas las características de las capas de entrada se decidió utilizar esta membresía ya que no era necesario la aplicación de funciones más elaboradas*. Los valores para cada variable se escalan asignando un valor de 0 al valor con menor prioridad y un valor de 1 al más alto, los valores intermedios se obtienen a través de una interpolación directa.

En la última parte de la metodología, se cuenta con una serie de capas raster ponderadas y unificadas. Cada píxel en las imágenes se corresponde uno a uno por lo que cualquier operación de agregación es válida. La operación de agregación tomará cada píxel de las capas en la misma ubicación y los agrega de

acuerdo a su función, el resultado será el valor del píxel en dicha ubicación para el mapa final. De nuevo, la lógica difusa provee diferentes funciones de agregación, pero dadas las características del estudio se decidió utilizar una sumatoria simple. Cabe aclarar que previo a la operación de agregación se asignaron pesos distintivos a cada capa. Esto es, un valor por el cual se multiplica el valor de cada píxel antes de operarlo con los demás. Generalmente, la asignación de pesos a cada capa se hace de manera coordinada entre los interesados y expertos y puede ser fácilmente editada en el modelo final para su posterior ejecución.

En la actual implementación, se decidió asignar un puntaje de 3 puntos a 3 capas específicas: la cobertura del servicio de energía eléctrica, con el fin de priorizar aquellas zonas con déficit de dicho servicio; el rendimiento agrícola, para priorizar áreas con alta producción de residuos agrícolas que puedan ser aprovechados como biomasa; y los casos positivos de COVID-19, con el objeto de beneficiar los municipios más afectados por la pandemia. Al resto de indicadores socio-económicos se le asignó un puntaje de 2 puntos y a todas las variables físicas se les dio un peso de 1 punto. Se priorizaron las variables socio-económicas sobre las físicas por el contexto de la investigación donde se busca resaltar más los beneficios a poblaciones vulnerables sobre aspectos de eficiencia o retorno de la inversión.

El mapa obtenido en esta etapa es finalmente escalado, entre 0 y el máximo valor posible de acuerdo a los pesos asignados, obteniendo una capa raster con valores entre 0 y 1 para cada ubicación en el mapa a manera de un índice. Para obtener un indicador a nivel de municipio, se utiliza una capa adicional para agregar por zonas y calcular el promedio de todos los píxeles contenidos en un respectivo municipio. Esto entrega una capa vectorial, con cada municipio relacionado con su valor promedio de acuerdo al puntaje obtenido en el índice anterior. Esta lista de municipios y su valor promedio se utiliza como una clasificación para la selección de los municipios con mayor potencial para la implementación de las soluciones propuestas en las posteriores etapas de la investigación.

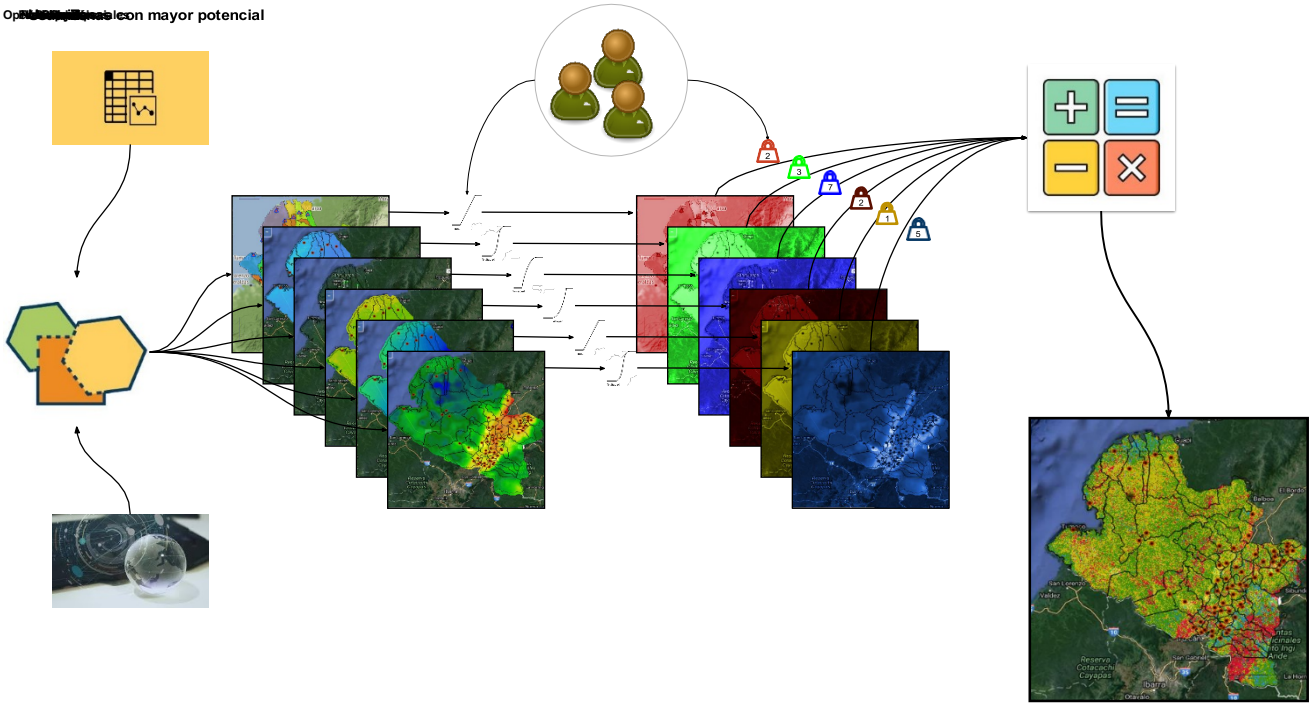



Figura 2. Diagrama esquemático de la metodología propuesta

## 5. Resultados y conclusiones

Como primer resultado de esta investigación se ha consolidado una base de datos georreferenciada de indicadores socio-económicos y variables físicas relacionadas a la identificación de zonas de interés para la implementación de soluciones de energía alternativa usando recursos de biomasa y solar. Las capas procesadas se recogieron en un único archivo con formato geopackage, formato soportado por el Open Geospatial Consortium (OGC[17]) como estándar interoperable, que contiene el total de los indicadores mencionados en la sección 3. El archivo se distribuye con este informe como un anexo digital dentro de la carpeta indicadores.

Con las capas de entrada disponibles se trabajó la metodología propuesta a través de la implementación de un modelo que permite automatizar los pasos generales descritos en la Sección 4. El modelo toma como entrada las capas de indicadores mencionadas anteriormente y permite la generación de los índices necesarios para la selección de las zonas de implementación. Este modelo se construyó usando la herramienta Graphical Modeler de la aplicación de software libre QGIS 3.22. Dicho software es de libre descarga y de acceso público desde su sitio web[18]. El modelo también se distribuye

[17] https://www.ogc.org/
[18] https://www.qgis.org/

como anexo digital a este informe en formato model3, que puede ser abierto y ejecutado usando QGIS 3.22, y como código Python, que igualmente puede ser ejecutado desde la consola de dicha herramienta. Los archivos mencionados se encuentran dentro de la carpeta modelo.

Por último, se presentan los índices creados por la metodología propuesta y que soportan la selección de zonas de trabajo para la puesta en marcha de las siguientes fases de la investigación. El primer índice se denomina índice de potencialidad y es una capa raster que agrega las capas transformadas y ponderadas de los indicadores iniciales y presenta un mapa de Colombia con valores entre 0 y 1 para cada píxel de la imagen. Los valores más altos representan aquellos lugares con mayor potencial para la implementación de las soluciones de biomasa y solar teniendo en cuenta indicadores socio-económicos. La Figura 3 ilustra el índice de potencialidad en una rampa de colores tipo semáforo donde el color verde más intenso significa los lugares más idóneos. Las zonas en rojo corresponden a las áreas ambientalmente protegidas del territorio colombiano y que han sido descartadas por tal motivo.

A partir del índice de potencialidad se realizó una agregación a nivel de municipios. En esta operación se promediaron los valores de todos los píxeles dentro de cada uno de los municipios y se le asignó dicho promedio a cada uno de ellos. Esto permite generar un orden de los municipios de mayor a menor de acuerdo al valor promedio del índice obtenido. Posteriormente, se filtraron los municipios PDET del resultado anterior con el objetivo de seleccionar los puntajes más altos dentro de esta categoría. Las Figuras 4 y 5 ilustran la agregación por municipios y el filtrado por municipios PDET respectivamente. Igualmente, los índices de potencialidad se adjuntan a este informe como anexos digitales bajo la carpeta índices. La Figura 6 muestra una captura del modelo construido y los pasos ejecutados para la generación de los índices de potencialidad.

Esta primera fase del proyecto tuvo como objetivo priorizar y ubicar geográficamente a las comunidades que serán áreas de estudio, en ellas se generarán los desarrollos tecnológicos y pruebas de concepto que se detallan en la segunda línea de acción del plan de trabajo. La selección será realizada a partir de la Tabla 1 que muestra los municipios con mejor índice de potencialidad, con base en los indicadores socio-económicos y físicos definidos. En las siguientes fases del proyecto, se identificarán las oportunidades de generación de energía renovable a partir de la cuantificación de los recursos disponibles, tanto solar como de biomasa.

Es importante resaltar que la metodología propuesta para la generación de los índices de potencialidad es parametrizable, en el sentido de que pueden ajustarse los pesos asociados a cada una de las capas de los indicadores. Esto se traduce en una herramienta flexible que puede ser adaptada a los cambios que se consideren pertinentes. Además, otros parámetros, más relacionados con el modelo en sí, también son susceptibles de ajustes. Igualmente, es posible incluir otros indicadores, tanto socio-económicos como físicos, en estudios posteriores.

Por último, hay que destacar que la iniciativa de las instituciones gubernamentales de mantener bases de datos abiertas sobre diferentes aspectos del acontecer ciudadano, demografía, salud, educación y producción agrícola, entre otros, permitió ubicar rápidamente y de manera confiable la información requerida para la caracterización socio-económica de los territorios.

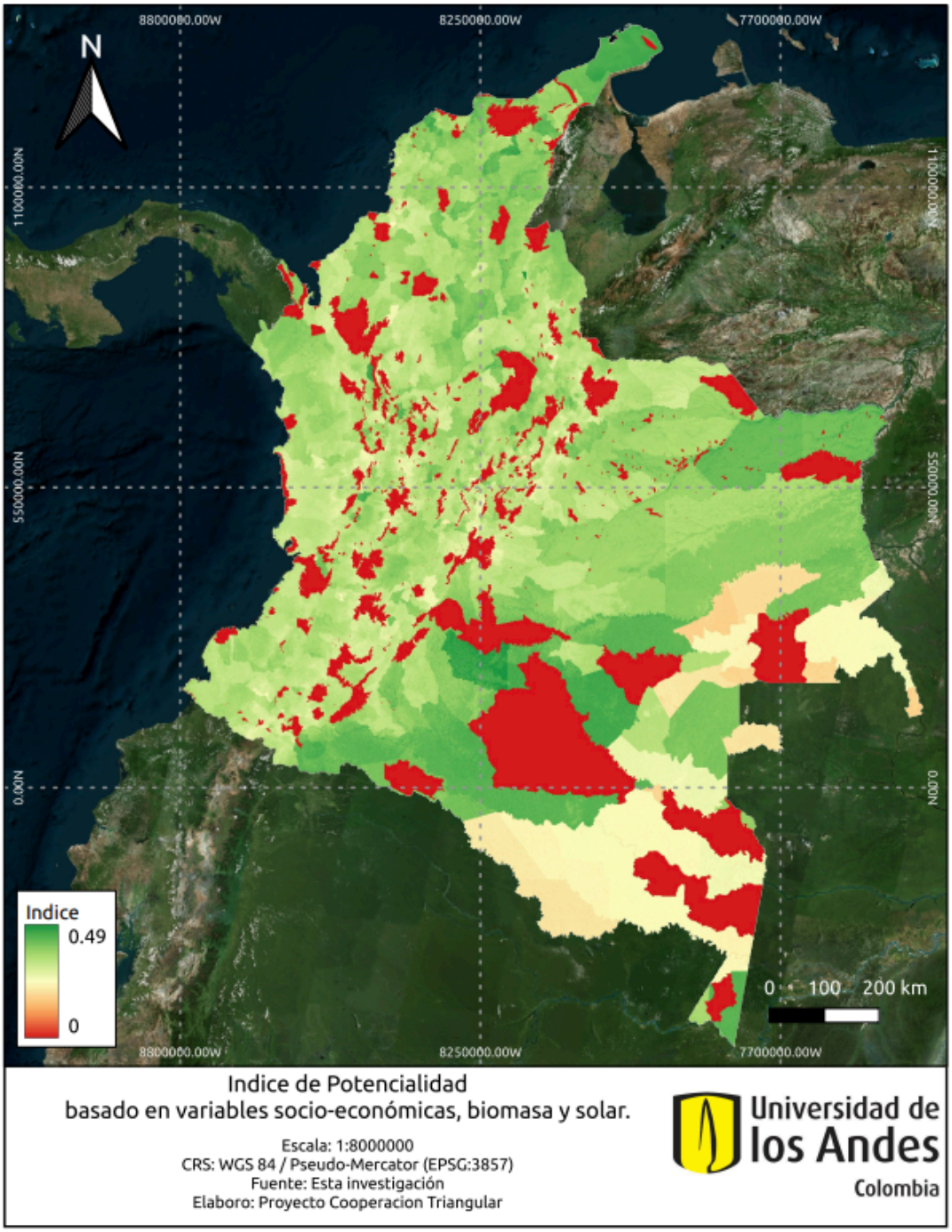



Figura 3. Índice de potencialidad propuesto

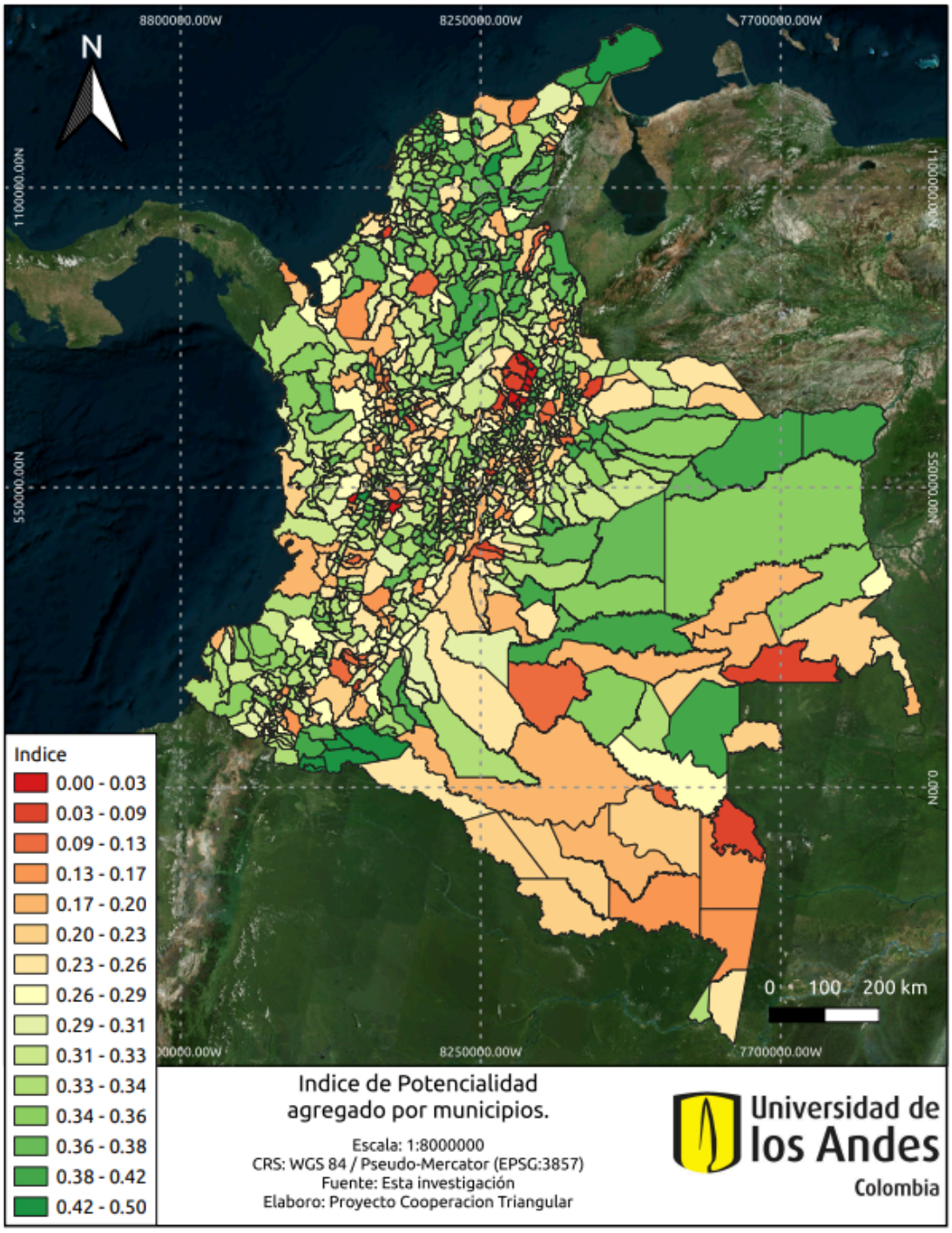



Figura 4. Índice de potencialidad agregado por municipios

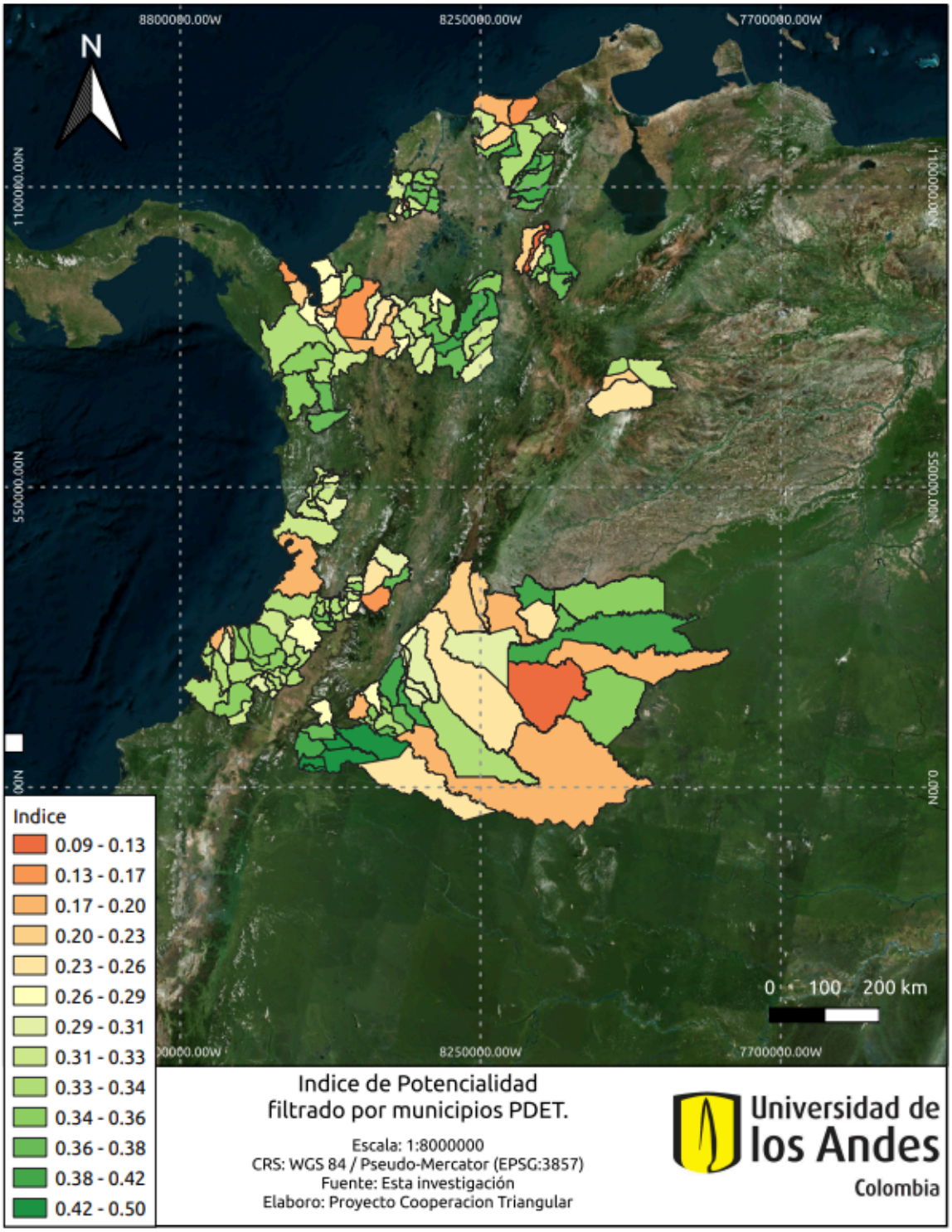



Figura 5. Índice de potencialidad filtrado por municipios PDET

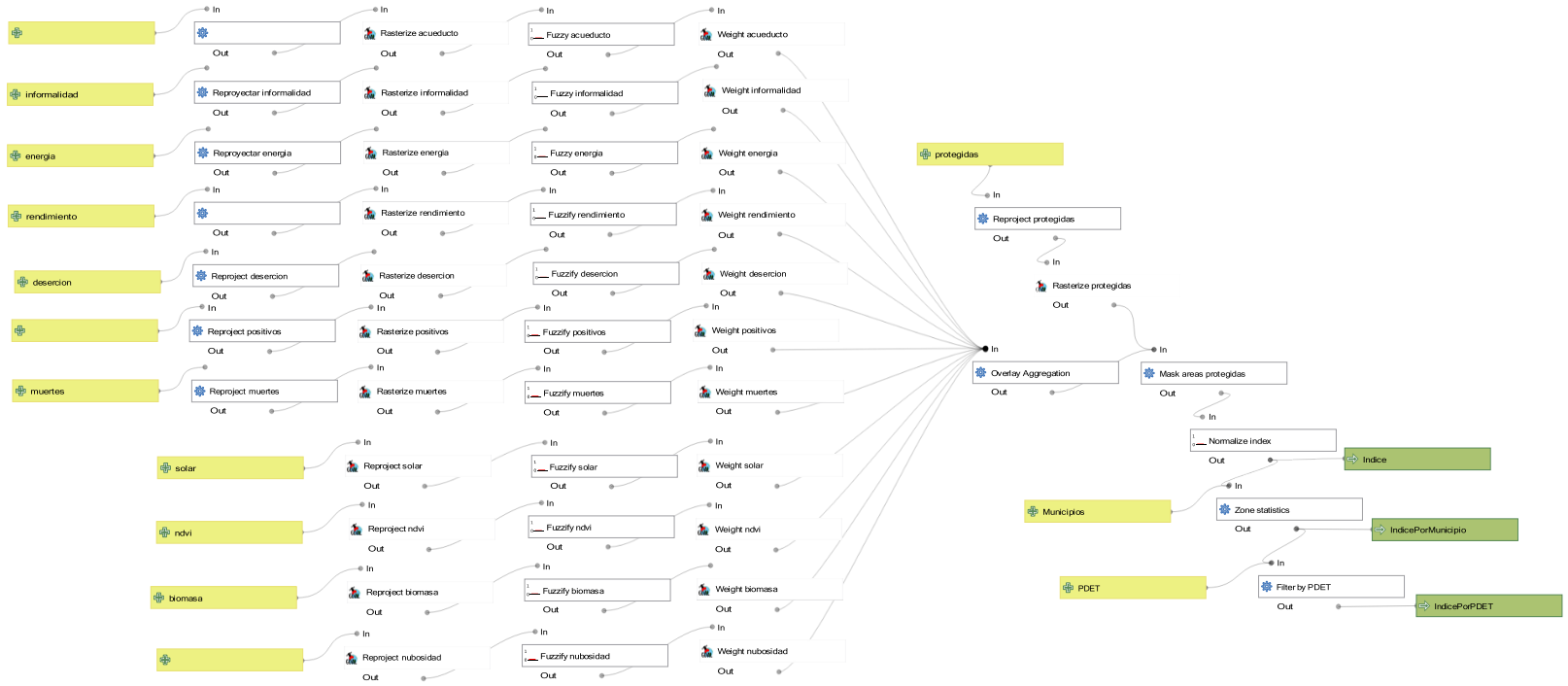



Figura 6. Modelo QGIS con la implementación de la metodología

## 5.1. Selección de los factores de peso del modelo y análisis multicriterio para la selección de la zona de estudio

A las entidades que participan en este estudio se les presentó la metodología, y los factores de peso se pusieron en la mesa de discusión (ver Anexo 3). Esta es una de las estrategias que se emplean para validar decisiones respecto de los factores de peso. No hubo recomendaciones al respecto, por lo que no se implementaron cambios respecto de la propuesta presentada, la cual se discute en este informe en la Sección 4.

Por otra parte, en la Tabla 1 se encuentran los municipios organizados de acuerdo con el valor del índice de potencialidad. Se observa que la mayoría de los municipios ubicados en el departamento del Putumayo puntúan bastante alto. Adicionalmente, se encuentran varios departamentos de Colombia con municipios en la lista de los 20 con alto índice de potencialidad, estos son: Cesar, Bolívar, Caquetá, Norte de Santander, Antioquia, Meta y Guaviare. Para los municipios PDET se calculó el índice de potencialidad promedio por departamento (ver detalles en el Anexo 4). Se encontró que el promedio para Putumayo, Cesar y Bolívar es muy similiar (0,380; 0,373 y 0,363 respectivamente), lo cual llevó a la conclusión de que en términos de los factores socioecnómicos y físicos usados para obtener el índice de potencialidad, estos tres departamentos son similares. Los siguientes promedios más altos con respecto al índice de potencialidad se obtuvieron para los departamentos de Caquetá, Norte de Santander y Antioquia (0,305; 0,303 y 0,304 respectivamente); sin embargo, el valor del índice en estos casos es bastante inferior al de Putumayo, Cesar y Bolívar

Por otra parte, entre los 3 departamentos de más alto promedio en el índice de potencialidad, en el Putumayo (ver detalles en el Anexo 7) la extensión del área cultivada es la más baja, por lo que se esperan grandes extensiones en tierra virgen. Por otra parte, en el Putumayo se encuentran las mayores extensiones de terreno en áreas protegidas. Estos factores podrían impactar negativamente el desarrollo metodológico de este estudio para el producto del potencial energético de biomasa residual.

En consideración de lo mencionado que considera e implementa recomendaciones dadas por el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Agricultura (ver minutas en el Anexo 3), se tomó la determinación de seleccionar como zonas de estudio los municipios PDET de los departamentos de Bolívar (detallado en el Anexo 5) y Cesar (detallado en el Anexo 6). Esto deja un total de 21 municipios PDET como zonas de estudio que en total cubren 2.284.100 Ha de las cuales 200.582 Ha (9%) presentan cultivos entre los que sobresalen el maíz, palma de aceite y café por extensión cultivada, la yuca por ser un cultivo presente en todos los municipios. Otros cultivos menos importantes en las zonas seleccionadas en términos de áreas cultivadas pero aún así quizás relevantes para el estudio son el cacao y el arroz.

De esta manera, se desarrolla y prueba la metodología para la selección del área de estudio, se obtienen bases de datos que se comparten con las instituciones para la toma de decisiones y se selecciona el área de estudio sobre la cual se harán los demás desarrollos de este trabajo.

Tabla 1. Los 20 municipios PDET con mejor puntación en el índice de potencialidad

| | Departamento | Municipio | Índice de potencialidad | Área (Km$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Putumayo | San Miguel | 0,431 | 378,8 |
| 2. | Putumayo | Puerto Guzmán | 0,426 | 4571,9 |
| 3. | Putumayo | Valle del Guamuez | 0,423 | 813,2 |
| 4. | Putumayo | Puerto Caicedo | 0,423 | 924,8 |
| 5. | Putumayo | Puerto Asís | 0,422 | 2814,7 |
| 6. | Cesar | Pueblo Bello | 0,409 | 743,7 |
| 7. | Bolívar | Santa Rosa del Sur | 0,406 | 2382,7 |
| 8. | Guaviare | San José del Guaviare | 0,404 | 16729,7 |
| 9. | Putumayo | Orito | 0,404 | 1934,5 |
| 10. | Cesar | Becerril | 0,397 | 1225,1 |
| 11. | Bolívar | Simitá | 0,396 | 1354,6 |
| 12. | Meta | Puerto Lleras | 0,393 | 2535,2 |
| 13. | Antioquia | Segovia | 0,392 | 1127,5 |
| 14. | Caquetá | La Montañita | 0,390 | 1700,4 |
| 15. | Norte de Santander | Tibú | 0,389 | 2678,7 |
| 16. | Cesar | San Diego | 0,389 | 645,9 |
| 17. | Caquetá | Florencia | 0,384 | 2545,9 |
| 18. | Norte de Santander | Sardinata | 0,382 | 1467,0 |
| 19. | Putumayo | Villagarzon | 0,382 | 1393,9 |
| 20. | Bolívar | Zambrano | 0,381 | 309,1 |

# 6. Referencias bibliográficas

[1] Sofia Orjuela Abril, Jhon A. Pabón León, and José O. García Mendoza. *Study of the Benefit of Solar Energy through the Management of Photovoltaic Systems in Colombia*. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(2):96–103, February 2021. Number: 2.

[2] Nazli Yonca Aydin, Elcin Kentel, and Sebnem Duzgun. *GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1):364–373, January 2010.

[3] I.J. Bateman, A.P. Jones, A.A. Lovett, I.R. Lake, and B.H. Day. *Applying Geographical Information Systems (GIS) to Environmental and Resource Economics*. Environmental and Resource Economics, 22(1):219–269, June 2002.

[4] Luis A. Bohorquez-Tapia, Lourdes Juárez, and Gustavo Cruz-Bello. *Integrating Fuzzy Logic, Optimization, and GIS for Ecological Impact Assessment*s. Environmental Management, 30(3):418–433, September 2002.

[5] Omar Cabrera, Bayron Champutiz, Andrés Calderón, and Andrés Pantoja. *Landsat and MODIS satellite image processing for solar irradiance estimation in the Department of Nariño-Colombia*. In 2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA), pages 1–6, August 2016. ISSN: 2329-6259.

[6] Bakhtiar Feizizadeh, Majid Shadman Roodposhti, Piotr Jankowski, and Thomas Blaschke. *A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping*. Computers & Geosciences, 73:208–221, December 2014.

[7] Mary C. Gough and Stephen P. Rushton. *The application of GIS-modelling to mustelid landscape ecology*. Mammal Review, 30(3-4):197–216, 2000. eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1365- 2907.2000.00067.x.

[8] Henning Sten Hansen. *GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development*. ScanGis 2005, pages 75–87, 2005. Publisher: Department of Planning and Environment.

[9] Patrícia Lourenço. *Biomass Estimation Using Satellite-Based Data. IntechOpen, February 2021*. Publication Title: Forest Biomass - From Trees to Energy.

[10] Jacek Malczewski. *GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature*. International Journal of Geographical Information Science, 20(7):703–726, August 2006. Publisher: Taylor & Francis eprint: https://doi.org/10.1080/13658810600661508.

[11] Aleksandar Rikalovic, Ilija Cosic, and Djordje Lazarevic. *GIS Based Multi-criteria Analysis for Industrial Site Selection*. Procedia Engineering, 69:1054–1063, January 2014.

[12] Maurizio Santoro. *GlobBiomass - global datasets of forest biomass*. September 2018. Publisher: PANGAEA Type: dataset.

[13] Maurizio Santoro, Oliver Cartus, Stephane Mermoz, Alexandre Bouvet, Thuy Le Toan, Nuno Carvalhais, Danae Rozendaal, Martin Herold, Valerio Avitabile, Shaun Quegan, Joao Carreiras, Yrj¨o Rauste, Heiko Balzter, Christiane Schmullius, and Frank Martin Seifert. *A detailed portrait of the forest aboveground biomass pool for the year 2010 obtained from multiple remote sensing observations*. page 18932, April 2018. Conference Name: EGU General Assembly Conference Abstracts ADS Bibcode: 2018EGUGA.

2018932S.

[14] Thanes Weerasiri, Wanpen Wirojanagud, and Thares Srisatit. *Assessment of Potential Location of High Arsenic Contamination Using Fuzzy Overlay and Spatial Anisotropy Approach in Iron Mine Surrounding Area*. The Scientific World Journal, 2014: e905362, July 2014. Publisher: Hindawi.

[15] Adam M. Wilson and Walter Jetz. *Remotely Sensed High-Resolution Global Cloud Dynamics for Predicting Ecosystem and Biodiversity Distributions*. PLOS Biology, 14(3): e1002415, March 2016. Publisher: Public Library of Science.

# ANEXOS

# ANEXO 1

## Descripción de los anexos digitales

Junto con este informe se distribuye una carpeta en la nube con los archivos digitales. A continuación se describe brevemente el contenido de dicha carpeta:

En la raíz de los anexos digitales se encuentra este mismo informe renombrado como Informe01.pdf, una carpeta con las minutas de las reuniones de trabajo dentro del equipo de Uniandes y con el resto de las entidades participantes del proyecto, una carpeta llamada Herramienta01 y una carpeta llamada Anexos. La carpeta Herramienta01 contiene el modelo, en formato model3 y Python, que implementa la metodología descrita en la sección 3 y cuya ejecución genera los índices descritos en la sección 4. Este modelo requiere como capas de entrada las capas de los indicadores socio-económicos y físicos que a su vez se encuentran en la carpeta Anexos/indicadores. Al correr el modelo se generarán tres índices, cuyas visualizaciones se presentan como anexos a este informe y sus bases de datos (geopackages) están disponibles en la carpeta Anexos/índices. La carpeta Anexos también cuenta con una carpeta Mapas donde se pueden apreciar las visualizaciones de las capas de entrada de todos los indicadores.

# ANEXO 2

## Comentarios y sugerencias de entidades

A continuación, se presenta la Tabla 2 que resume los comentarios y sugerencias que se recibieron por parte de las entidades participantes (para mayor detalle ver minutas de reuniones con entidades en el siguiente Anexo 3), al conocer los resultados del primer entregable Producto A-Base de datos de las comunidades y territorios de estudio.

Tabla 2. Comentarios y sugerencias de las entidades que te tomaron en cuenta en este entregable- Producto A-Base de datos de las comunidades y territorios de estudio

| Reunión 14-oct-2022, los comentarios y sugerencias se encuentran en los siguientes links:<br>Reunión: https://drive.google.com/file/d/1eT2AFiP5TYyt8fCyZRzyCDlHzgnATZc0/view?usp=sharing<br>Padlet: https://padlet.com/rocisierra29/q3n9wfdg6ras4vez | | |
|---|---|---|
| **Entidad** | **Comentario/sugerencia** | **Sección del informe donde se implementó** |
| Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) | ¿Consideraron variables de restricciones ambientales, como por ejemplo áreas protegidas para la instalación de parques solares? | Tomando en cuenta esta inquietud se aplicó un filtro para excluir, de la selección de la zona de estudio, las áreas protegidas del territorio nacional colombiano. Esto se hizo en el modelo QGIS implementado en la metodología, que se presenta en la Figura 5. de este informe. |
| Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) | ¿Los resultados serán diferenciales para el potencial energético solar y otro resultado para biomasa? | En el modelo planteado para la selección de la zona de estudio se tomaron en cuenta los dos aspectos, el potencial energético solar (por medio del indicador de irradiación solar) y el de biomasa (por medio del indicador biomasa sobre suelo), al igual que los indicadores socioeconómicos para la selección de la zona; como se observa en la sección 3 y en el modelo QGIS implementado en la metodología, que se presenta en la Figura 5 de este informe. Cuando el proyecto avance si se hará un análisis del potencial solar |

| | | |
|---|---|---|
| | | y el de biomasa por separado con mayor detalle. |
| Ministerio de Agricultura | Recomendaciones<br>-Invitar a participar en el proyecto, al grupo de profesionales de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), que es la entidad sectorial encargada de generar criterios e instrumentos para la toma de decisiones relacionadas con la planificación agropecuaria y desarrollo rural integral en Colombia. La invitación es para comparar la data seleccionada con la data que maneja UPRA.<br><br>-Se recomienda tener en cuenta los municipios PDET y post conflictos respecto a las regiones vulnerables de Colombia. | Los datos usados para el indicador de rendimiento promedio de cultivos, fueron tomados de las Evaluaciones agropecuarias municipales, presentadas en la página web de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), como se indica en la sección 3 de fuentes de datos del informe, para el desarrollo del Producto A- Base de datos de las comunidades y territorios de estudio. Para el desarrollo del Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola, se están haciendo los trámites para tener contacto con personal de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), y poder acceder a las fuentes de datos específicas de los cultivos que se tienen en la zona de estudio.<br><br>Tomando en cuenta esta recomendación, se aplicó un filtro para priorizar los municipios PDET, en la selección de la zona de estudio. Esto se hizo en el modelo QGIS implementado en la metodología, que se presenta en la Figura 5 y el resultado se observa en el mapa de la Figura 4 de este informe.<br>Las zonas de post-conflicto no se tomaron en cuenta porque no se encontraron fuentes de información para toda la región colombiana. |
| Ministerio de Agricultura | ¿En el mapa preliminar de biomasa sobre el suelo, se puede indicar que clase de biomasa es? y esta es la residual? | El mapa preliminar de biomasa para la selección de la zona es AGB, biomasa sobre el nivel de suelo, como se indica en la |

| | | |
|---|---|---|
| | ¿Qué tipo de biomasa contemplan en el estudio? Natural, cultivos energéticos, residual (agrícola, RSU, pecuaria)? | sección 3 de fuentes de datos de este informe. Para el desarrollo del Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola, se trabajará con biomasa residual de los cultivos de la zona de estudio.<br><br>Para considerar la biomasa en el en el estudio se tomó en cuenta los indicadores que se consideraron más importantes: Índice de rendimiento de cultivos / Biomasa sobre el suelo, como se presenta en la sección 3 de fuentes de datos de este informe. |
| Ministerio de Energía-Colombia | ¿Los resultados serán diferenciales para el potencial energético solar y otro resultado para biomasa? | En el modelo planteado se evaluaron los dos aspectos, el potencial energético solar y el de biomasa, al igual que los indicadores socioeconómicos para la selección de la zona, como se observa en el modelo QGIS implementado en la metodología, que se presenta en la Figura 5 de este informe. Cuando el proyecto avance si se hará un análisis del potencial solar y el de biomasa por separado. |
| Ministerio de Energía de Chile | ¿Cómo consideran las diferencias estacionales de biomasa?, ¿se usan imágenes satelitales de diferentes momentos del año? | Para efectos de la selección de la zona de estudio se manejaron promedios anuales, como se presenta en la sección 3- fuentes de datos, específicamente en el índice de vegetación (NDVI), presentada en este informe. |
| Reunión 17-nov-2022, los comentarios y sugerencias se encuentran en el siguiente link:<br><br>**https://uniandes.sharepoint.com/sites/cc644/_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fsites%2Fcc644%2FDocumentos%20compartidos%2FGeneral%2FRecordings%2FReuniones%20Audios%2FReuni%C3%B3n%20MinEnerg%C3%ADa%2DUPME%2017%2D11%2D22%2Em4a&referrer=Teams%2ETEAMS%2DELECTRON&referrerScenario=teamsSdk%2DopenFilePreview** | | |

| Entidad | Comentario/sugerencia | Sección del informe donde se implementó |
|---|---|---|
| Ministerio de Energía | ¿Cuáles son los cultivos que se van a seleccionar en la zona de estudio? | La selección de los cultivos aún no se ha hecho porque esto forma parte del desarrollo del Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola, pero el criterio que se tomará en cuenta, serán los primeros dos o tres cultivos de mayor extensión cultivada, en los municipios pre-seleccionados en el Departamento del Putumayo. También se tendrá en cuenta la disponibilidad de fuentes de datos de área cultivada y rendimiento de los cultivos, en fuentes oficiales, como el Ministerio de Agricultura, que permitan desarrollar el prototipo del explorador de biomasa. En caso de no tener suficiente información disponible para los municipios pre-seleccionados del Dpto. del Putumayo se evaluará la opción de cambiar de municipios, tomando en cuenta el índice calculado en el modelo desarrollado en la metodología de este informe. |
| Ministerio de Energía | ¿En la zona escogida se puede tener varios tipos de cultivos, cómo se va a diferenciar el poder calorífico del residuo?. | Una vez que se conozcan los tipos de cultivo de la zona d estudio, se escogerán los más representativos y con éstos se podrá hacer la diferenciación del desecho y de su poder calorífico, para incluirlo en el Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola. |
| Ministerio de Energía | ¿Para el desarrollo del explorador de biomasa, se tomará en cuenta el material forestal? y ¿A qué se refiere a biomasa residual? | Parar el desarrollo del Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de |

| | | |
|---|---|---|
| | | biomasa residual agrícola**,** sólo se tomará en cuenta los residuos post-cosecha de los cultivos de la zona de estudio. La biomasa residual se refiere a todos los residuos de la post-cosecha de un cultivo, los cuales varían dependiendo del tipo cultivo y su rendimiento. |
| Ministerio de Energía | Recomendación:<br>Existen dos mapas (frontera agrícola-UPRA) donde se indica las zonas de cultivos en Colombia (tener en cuenta que el Dpto. del Putumayo tiene poco cultivos), y el otro re refiere al uso del suelo. En los siguientes links se comparte información al respecto.<br><br>**https://www.agronegocios.co/agricultura/hay-31-millones-de-hectareas-de-frontera-agricola-sin-aprovechar-en-toda-colombia-3239508#**<br><br>**https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia** | Para el desarrollo del Producto B- Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola, se consultarán las páginas recomendadas, junto con otras fuentes oficiales. |
| Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) | Se recomienda tener en cuenta que el Dpto.del Putumayo no se caracteriza por ser un área de grandes cultivos, se manejan pequeños cultivos. ¿Cómo se podrá estimar la cantidad de esos residuos post-cosecha? | Para este primer entregable Producto A- Base de datos de las comunidades y territorios de estudio, se tomó en cuenta el rendimiento promedio de cultivos cuya fuente fueron las evaluaciones agropecuarias municipales de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), como se indica en la sección 3 de fuentes de datos de est informe. Con esta fuente se han podido conocer los tipos de cultivos que prevalecen en los municipios del Dpto. del Putumayo lo cual será útil para el desarrollo del explorador de biomasa. Se están haciendo contacto con la UPRA para obtener información geo-referenciada de los cultivos, así como el rendimiento de los mismos, en el Dpto. del Putumayo. En caso de no tener |

| | | |
|---|---|---|
| | | suficiente información disponible para los municipios pre-seleccionados del Dpto. del Putumayo se evaluará la opción de cambiar de municipios, tomando en cuenta el índice calculado en el modelo desarrollado en la metodología de este informe.<br>Para determinar la cantidad de residuos post-cosecha hay información tabulada que indica el porcentaje de desecho obtenido de acuerdo al tipo de cultivo. |
| Ministerio de Agricultura | Desde el MinAgricultura, sugirieron:<br>-Hacer la selección de los cultivos para el desarrollo del explorador de biomasa, tomando en cuenta que el enfoque actual del ministerio es la seguridad alimentaria. Entre los cultivos sugeridos se encuentran maíz, cacao y yuca<br><br>-Planificar reuniones con las federaciones agrícolas de los cultivos de interés, que pueden ser solicitadas y planificadas desde el Ministerio de Agricultura porque ellos cuenta con los contactos necesarios | La sugerencia de MinAgricultura, fue pertinente, porque la seguridad alimentaria se alinea con los planes de recuperación post- Covid 19 planteados por el Estado. Los cultivos que se están considerando para el desarrollo del explorador de biomasa, en los departamentos del Cesar y de Bolívar, son los de palma de aceite, maíz, arroz, yuca, cacao y café. El análisis de cada cultivo se hará en el desarrollo del explorador de biomasa residual.<br><br>De acuerdo a los cultivos de interés se solicitarán reuniones las federaciones agrícolas de palma de aceite (FEDEPALMA), maíz (FENALCE), arroz (FEDEARROZ), yuca (la que corresponda), café (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia) y cacao (FEDECACAO). |
| | | |

# ANEXO 3

## Minutas de reuniones con entidades

A continuación, se presentan las minutas de las reuniones con las entidades que permitieron hacer la selección final de la zona de estudio, las cuales fueron con:

- Todas las entidades participantes del proyecto
- Ministerio de Energía y UPME
- Ministerio de Agricultura

Estas y otras minutas de reuniones entre las dos universidades y las de trabajo en la universidad de los Andes, pueden encontrarse en la carpeta "Minutas de reunión"

| **MINUTA DE REUNIÓN VIRTUAL CON ENTIDADES** | |
|---|---|
| Fecha y hora: | **14-0ctubre de 2022** de 8:00 a 9:30 am (hora local de Colombia) |
| Proyecto | Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia |
| Propósito | Presentar los avances del "Estudio de Concepto de Exploradores de Potencial Energético Solar y de Biomasa" en contexto del Proyecto de Cooperación Triangular entre los países Alemania-Chile Colombia. |
| Sala de reunión: | virtual por el link de zoom |
| Director de reunión | Rocío Sierra Ramírez |
| Secretaria de reunión | Norymar Becerra Zerpa |
| Entidades participantes de la reunión | **Por Colombia:** Universidad de los Andes, Ministerio de Energías y Minas, Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia (APC), Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Contratista Grupo Energía MADS.<br>**Por Chile:** Universidad de Chile, Ministerio de Energía Chile<br>y Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID).<br>**Por Alemania:** GIZ Colombia y GIZ Chile. |

| | |
|---|---|
| Participantes | Ver la tabla anexa al final con el listado de los participantes |

**Agenda de la reunión**

1. **Saludo y presentación de los participantes:** La directora Rocío Sierra dio el saludo de bienvenida y se hizo la invitación de los participantes a diligenciar sus datos (nombre, documento de identidad, número celular, cargo y afiliación) en la herramienta en línea Padlet, la cual permite dejar notas vigentes sobre la reunión antes y después. El link usado de esta herramienta fue: **https://padlet.com/rocisierra29/q3n9wfdg6ras4vez**

2. **Presentación general del proyecto:** Esta sección estuvo a cargo de los profesores Rocío Sierra y Guillermo Jiménez, quienes explicaron:

- El objetivo del proyecto que está enfocado en desarrollar herramientas que a partir de uso y análisis de imágenes satelitales permitan establecer estrategias de seguridad energética y alimentaria para mitigar los efectos negativos provocados por la pandemia del COVID 19 en comunidades vulnerables. Esto se hace a través de la ubicación geográfica de estas comunidades y la posterior cuantificación del potencial de generación de energía a partir de biomasa residual y de radiación solar, determinando también la productividad agrícola y realizando análisis para identificar el potencial neto de generación solar a través de techos.
- Las bases de la formulación del proyecto, tomando en cuenta los estudios y el know-how desarrollado por Alemania, Colombia y Chile en el ámbito de potenciales de energía renovables, en particular en las fuentes de biomasa y energía solar, para impulsar la transferencia de conocimiento y tecnología. En Chile hay un alto conocimiento y desarrollo en la herramienta conocida como explorador solar, que puede ser aprovechada por Colombia, que está en el camino de desarrollo en términos de potencial solar, lo que le permitirá fortalecer sus plataformas. Por su parte, en Colombia se han desarrollado con precisión atlas de biomasa y potencial de biomasa cuyo detalle y know-how, se puede compartir con Chile. Otros tópicos identificados entre ambos países, es que la herramienta desarrollada será de gran utilidad para estimar la productividad agrícola y estimación de potenciales de techos solares. El intercambio y ejecución del proyecto se está dando, gracias al apoyo de transferencia tecnológica de la cooperación alemana.
- Los bloques de actividades del proyecto están enfocados a tres impactos: i) selección de comunidades donde el estudio sea pertinente para hacer un estudio de concepto; ii) desarrollos tecnológicos (explorador satelital agrícola, explorador satelital solar, integración de exploradores y techos solares) y iii) pertinencia y transferencia.
- Mención de los socios en Colombia y entidades consultadas, para el proceso formalización y validación del proyecto.
- Mención del estatus del proceso de formalización del proyecto en Chile, por representantes de la Universidad de Chile y GIZ sede Chile.
- Por último, se presentaron los equipos de trabajo, tanto el colombiano como el chileno.

En la sección de links de interés se encuentra el link de la reunión grabada, donde se podrán ver los detalles de la presentación del general del proyecto.

3. **Presentación de resultados preliminares obtenidos sobre la selección de la zona en Colombia:** Esta sección estuvo a cargo de los investigadores Haydemar Nuñez y Andrés Calderón, quienes presentaron como avances los resultados de la base de datos de las comunidades y territorios de estudio del proyecto. En la explicación presentaron cuál fue la caracterización y priorización de los indicadores socioeconómicos (siete socioeconómicos y cuatro físicos) requeridos para la selección de territorios/sectores vulnerables, así como, el desarrollo de una aproximación metodológica para la priorización de territorios vulnerables.

   La metodología consistió en: i) selección de indicadores; ii) estandarización de los datos de los indicadores mediante operaciones que permitierán hacerlos discretos y bajo una misma escala; iii) obtención de mapas del territorio colombiano para describir cada uno de los indicadores seleccionados; iv) normalización de la data para pasar de mapas a capas ponderadas; v) ponderación de las capas dando prioridad a los indicadores socioeconómicos; vi) operaciones de solapamiento para definir las área de interés para el estudio. El modelo que se está desarrollando tiene la característica que es parametrizable, donde las variables de entrada sean los indicadores.

   En la sección de links de interés se encuentra el link de la reunión grabada, donde se podrán ver los detalles de los resultados preliminares para la selección de la zona en Colombia.

4. Comentarios y sugerencias de los representantes de las entidades presentes: se abrió el espacio de preguntas, comentarios y sugerencias tanto en el chat de la sala de zoom, así como en la herramienta de Padlet **https://padlet.com/rocisierra29/q3n9wfdg6ras4vez.** Los comentarios y dudas estuvieron orientados a:

   **¿Cómo consideran las diferencias estacionales de biomasa?, ¿se usan imágenes satelitales de diferentes momentos del año?**
   R: Para efectos de la selección de territorios manejamos promedios anuales... la idea en esta primera etapa es tener una idea general que nos ayude a la priorización de territorios.

   **¿De los resultados que ya han obtenido, cuáles zonas han sido priorizadas?**
   R: Hasta el momento tenemos resultados preliminares evaluando únicamente las variables físicas a manera de validación del modelo, pero no quisiéramos compartir en esta etapa esos resultados... al incluir las variables socio económicas éstas seguramente cambiarán.

   **¿Consideraron variables de restricciones ambientales, como por ejemplo áreas protegidas para la instalación de parques solares?**
   R: La inclusión de una capa de áreas protegidas sería muy interesante para descartar aquellas zonas donde aunque se prioriza muy bien por biomasa tengan limitaciones de implementación. Esta podría incluirse como una capa adicional en el modelo.

   **¿Para el índice de vegetación ¿cuáles fueron las variables considerados?**

R:El índice de vegetación que incluimos en el modelo es NDVI, en un sola capa.

**¿Los resultados serán diferenciales para el Potencial Energético solar y otro resultado para Biomasa?**
**R:** En el modelo planteado se evaluaron los dos aspectos, el potencial energético solar y el de biomasa, al igual que los indicadores socioeconómicos para la selección de la zona. Cuando el proyecto avance si se hará un análisis del potencial solar y el de biomasa por separado.

**¿En el mapa preliminar de biomasa sobre el suelo, se puede indicar que clase de biomasa es ? y esta es la residual ?**
**R:** El mapa preliminar de biomasa es AGB, biomasa sobre el nivel de suelo
**R:** Indicadores que considero más importantes: Índice de rendimiento de cultivos / Biomasa sobre el suelo

**¿Que tipo de biomasa contemplan en el estudio? Natural, cultivos energéticos, residual (agrícola, RSU, pecuaria)?**
R: el tipo de biomasa en el que se centrara el estudio es la biomasa residual agrícola

**¿Cómo se determina la biomasa potencial? es decir, aquella biomasa que no se esta utilizando actualmente y que ofrece propiedades energéticas dada las características fisicoquímicas?**
**R:** Por los momentos no conocemos el detalle para la determinación de la biomasa potencial, esos detalles serán desarrollados más adelante con el avance del proyecto. Sin embargo, contamos con una primera propuesta metodológica que consiste en que una vez se haya seleccionado la zona de estudio, para el caso del potencial agrícola, se observaría cuáles son los cultivos de la zona y con imágenes satelitales históricas conocer índices de interés, y hacer comparación con imágenes satelitales actuales, para determinar la productividad agrícola y dependiendo de los cultivos estimar los residuos post-cosechas potenciales para transformarlos en energía.

**¿El estudio indicará los criterios y aspiración de la transformación de la biomasa en las diferentes energías: cogeneración, para la generación de energía eléctrica, vapor, combustibles líquidos renovables ?**
**R:** AGB (Above Ground Biomass) se refiere a la masa arbórea en peso seco a excepción de las raíces del árbol

**R:** Es necesario aclarar que existen diferentes estudios de estimación energética de la biomasa residual con diversas tecnologías

**¿Serán contemplado el diésel renovable y el jet renovable, dado que estos combustibles están tomando importancia recientemente?**
**R:** Si se podrían tomar en cuenta, pero eso dependerá del tipo de cultivo de la zona seleccionada.

**Recomendación de representante de Ministerio de Agricultura:**

- Invitar a participar en el proyecto, al grupo de profesionales de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), que es la entidad sectorial encargada de generar criterios e instrumentos

| | |
|---|---|
| | para la toma de decisiones relacionadas con la planificación agropecuaria y desarrollo rural integral en Colombia. La invitación es para comparar la data seleccionada con la data que maneja UPRA.<br>• Tener en cuenta los municipios PDET y post conflictos respecto a las regiones vulnerables.<br><br>**Comentarios:** Representantes de la AGCID y de APC Colombia expresaron todo su interés y disposición en seguir impulsando y apoyando el desarrollo del proyecto. |
| **Links de interés** | La reunión de zoom se puede encontrar en el siguiente link:<br><br>**https://drive.google.com/file/d/1eT2AFiP5TYyt8fCyZRzyCDlHzgnATZc0/view?usp=sharing**<br><br>El registro de parte de los asistentes, así como, preguntas y comentarios se pueden visualizar en el siguiente link: **https://padlet.com/rocisierra29/q3n9wfdg6ras4vez.** |

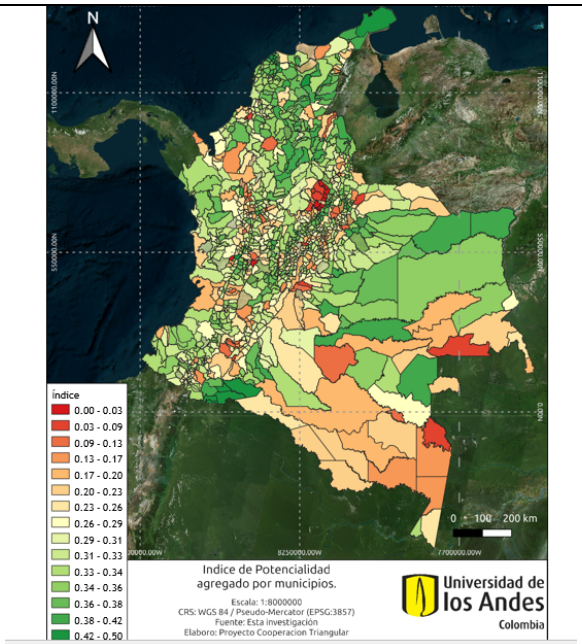
| **MINUTA DE REUNIÓN VIRTUAL CON MINISTERIO DE ENERGÍA Y UPME** | |
|---|---|
| Fecha y hora: | 17-Noviembre de 2022 , 8:00 am |
| Proyecto | Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia: *Estudio de concepto de exploradores de potencial energético solar y de biomasa* |
| Propósito | Reunión de acercamiento con el Ministerio de Energía- UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) para presentar el principio del Proyecto Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia: *Estudio de concepto de exploradores de potencial energético solar y de biomasa,* así como, los resultados de avances. |
| Director de reunión | Juan Camilo Acevedo |
| Participantes | Uniandes: Rocío Sierra y Norymar Becerra<br>Ministerio de Energía: Juan Camilo Acevedo, Jairo Valencia, Carolina Garzón, Oscar Galvis, Yuly Barrientos, Catalina Camargo, Kevin Reyes.<br>UPME: Héctor Herrera, Leyla Montenegro |
| **Resumen de reunión** | |
| • El Ministerio de Energía se encuentra en el proceso de construcción de la hoja de ruta de energía de Colombia, en la cual se consideran las energías renovables que incluye el | |

aprovechamiento de biomasa. Para el MinEnergía es importante conocer todos los proyectos relacionados con energía, que se están desarrollando en el país, por esta razón convocó una reunión con Uniandes para conocer el Proyecto de Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia: *Estudio de concepto de exploradores de potencial energético solar y de biomasa.*

- La agenda de la reunión fue: presentación breve de participantes (MinEnergía, UPME y Uniandes), presentación del propósito y resultados de avances del proyecto y espacio de dudas y sugerencias.
- Se hizo un resumen del propósito del proyecto que tiene el objetivo de *construir un sistema que integra exploradores de energía solar y de biomasa residual agrícola que se desarrollan en este trabajo, para una zona seleccionada en Colombia, identificando también el potencial uso energético solar en techos fotovoltaicos, todo a partir de importantes intercambios de información con Chile. Se usarán estrategias de modelamiento GIS con imágenes satelitales, se divulgarán los resultados a entidades gubernamentales colombianas y se planearán estrategias para futuros desarrollos e interacciones Colombia-Chile; y se presentaron los* productos que se van a generar:

    A. Base de datos de las comunidades y territorios de estudio
    B. Prueba de concepto de exploradores de energía de biomasa residual agrícola
    C. Explorador solar en Colombia sobre la base de las experiencias y desarrollos técnicos alcanzados en Chile
    D. Sistema que integra los exploradores de energía solar y de biomasa residual agrícola
    E. desarrollados para Colombia y Chile
    F. Prueba de concepto del aprovechamiento de energía solar en techos solares fotovoltaicos
    G. Estimación de indicadores de impacto de los desarrollos tecnológicos en las áreas de estudio seleccionadas
    H. Estrategia para la continuación, expansión y transferencia de tecnología

- El producto A ya fue entregado (está en revisión) y consistió en el desarrollo de una herramienta, para poder seleccionar una zona de estudio en la cual se aplicarán las pruebas de concepto de los exploradores. La metodología de selección de la zona consistió en: i) selección de 11 indicadores (7 socioeconómicos: desocupación informal, deserción educación básica y media, cobertura de acueducto, cobertura de energía eléctrica, rendimiento agrícola, infectados Covid, muertes Covid y 4 físicos: biomasa sobre suelo, índice de vegetación, nubosidad e irradiación solar); ii) estandarización de los datos de los indicadores; iii) obtención de mapas del territorio colombiano para describir cada uno de los indicadores seleccionados, llamados rasters; iv) normalización de la data para pasar de mapas a capas ponderadas; v) ponderación de las capas dando prioridad a los indicadores socioeconómicos; vi) operaciones de solapamiento y cálculo de índice para definir las área de interés para el estudio. El mapa e índice obtenido como resultado del desarrollo del modelo(ver siguiente figura), indicaron que los municipios con mayor índice están ubicados en el Departamento del Putumayo. El producto A fue entregado a representantes de MinEnergía, MinAgricultura, MinAmbiente, UPME, Universidad de Chile, entre otros, para su retroalimentación




- En los resultados obtenidos del producto A, las zonas potenciales a estudio para el desarrollo del explorador de biomasa y energía solar se encuentran en el Departamento del Putumayo. Sin embargo, esas zonas pueden ser cambiadas en función dela disponibilidad de información para poder desarrollar los conceptos de exploradores de biomasa y energía solar.
- Para el explorador de potencial agrícola, se está recolectando la información y haciendo contacto con el Ministerio de Agricultura para identificar los tipos de cultivos y rendimientos de los municipios seleccionados del Dpto del Putumayo. La metodología consiste en identificar el tipo de cultivos, seguido la cantidad de biomasa con el uso del NDVI, LAI y PAR, lo cual será la base para estimar el porcentaje de residuo post-cosecha de acuerdo al tipo de cultivo. Conocida la cantidad y tipo de residuo se puede estimar a partir de una fórmula química (que se genera de acuerdo a la composición química), la energía que se produciría (que también dependerá del tipo de conversión: incineración, producción de biogás, producción de bioetanol). En la siguiente figura se presenta la metodología planteada para el explorador de biomasa residual agrícola.

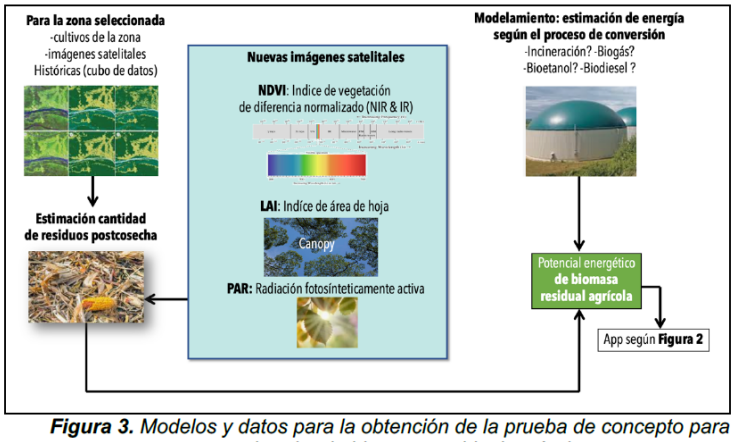



***Figura 3.*** *Modelos y datos para la obtención de la prueba de concepto para el explorador de biomasa residual agrícola*

- Para el explorador de energía solar se trabajará en conjunto la Universidad de Chile para aprovechar la transferencia de conocimientos que tienen en esta área. En este explorador se tomarán en cuenta indicadores físicos relacionados con el clima. En la siguiente figura se presenta un esquema de la metodología para el desarrollo del explorador solar.

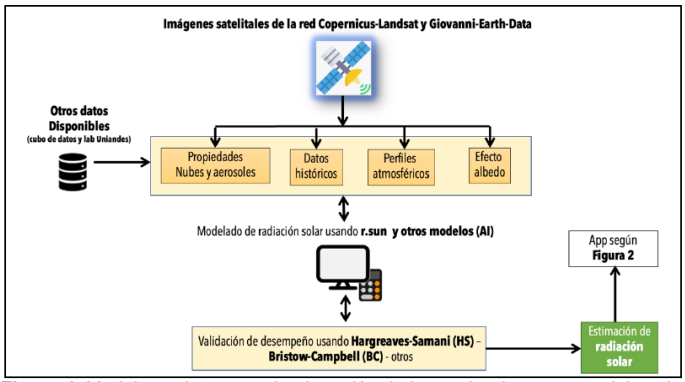



***Figura 4.*** *Modelos y datos para la obtención de la prueba de concepto del explorador de energía solar*

- Una vez desarrollados los exploradores de biomasa y energía solar se tiene el propósito de integrarlos en una sola herramienta que sea de libre acceso.

**Dudas y recomendaciones**

- ¿Cuáles son los cultivos que se van a seleccionar en la zona de estudio?

R: Tomando en cuenta que la zona pre-seleccionada corresponde a municipios del Departamento del Putumayo, se está recolectando la información y haciendo contacto con el Ministerio de Agricultura para identificar los tipos de cultivos y rendimientos de los municipios seleccionados.

- ¿Se tomarón en cuenta las zonas protegidas?

R: En la selección de la zona de estudio se aplicó un filtro para excluir las zonas protegidas a nivel nacional.

- ¿Para el desarrollo del explorador de biomasa, se tomará en cuenta el material forestal?

R: No, porque sólo se tomará en cuenta los residuos post-cosecha de los cultivos de la zona de estudio.

- ¿A qué se refiere a biomasa residual?

R: A todos los residuos de la post-cosecha de un cultivo, los cuales varían dependiendo del tipo cultivo y su rendimiento

- ¿En la zona escogida se puede tener varios tipos de cultivos, cómo se va a diferenciar el poder calorífico del residuo?.

  R: Una vez que se conozcan los tipos de cultivos, se escogerán los más representativos y con esto se podrá hacer la diferenciación del desecho y de su poder calorífico.

- El Putumayo no se caracteriza por ser un área de grandes cultivos, según el conocimiento de Leyla Montenegro, se manejan pequeños cultivos. ¿Cómo se podrá estimar la cantidad de esos residuos?

R: En el primer entregable se tomó en cuenta el rendimiento promedio de cultivos, lo cual será útil para el desarrollo del explorador de biomasa. En caso de no tener suficiente información disponible para los municipios del Dpto. del Putumayo se evaluará la opción de cambiar de municipios.

- ¿La herramienta de biomasa contará con la facilidad de actualizar los mapas para los siguientes años de 2022?

R: Consultar con Andrés Calderón

- ¿El Dpto del Putumayo tiene alta humedad de hasta 80%, cómo se tomará en cuenta esta humedad dentro de la herramienta que se va a desarrollar?

R: Por consultar

- ¿Por qué se tomó como indicador la cobertura de energía eléctrica? ¿Qué importancia/incidencia tiene para las herramientas desarrolladas en el proyecto?

R: El indicador de cobertura de energía eléctrica se seleccionó porque permite evaluar zonas vulnerables al acceso de este recurso, por ser uno de los principios del proyecto de favorecer a zonas vulnerables. Este indicador tiene mayor relación con el desarrollo del explorador de energía solar que con el de biomasa.

Duda de Oscar Iván Galvis:

- ¿La selección de la zona se hizo tomando el potencial de biomasa y potencial solar?

R: Si, se hizo tomando ambos potenciales

- Recomendación: existen dos mapas (frontera agrícola-UPRA) donde se indica las zonas de cultivos en Colombia (tener en cuenta que el Dpto. del Putumayo tiene poco cultivos), y el otro re refiere al uso del suelo. En los siguientes links se comparte información al respecto.

https://www.agronegocios.co/agricultura/hay-31-millones-de-hectareas-de-frontera-agricola-sin-aprovechar-en-toda-colombia-3239508#

https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia

- Por parte del Ministerio de Energía, nos piden el favor de compartirles información de los resultados obtenidos con el desarrollo del explorador de potencial de biomasa, para el mes de abril-2023.

| **Link de audio de reunión** |
|---|
| https://uniandes.sharepoint.com/sites/cc644/_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fsites%2Fcc644%2FDocumentos%20compartidos%2FGeneral%2FRecordings%2FReuniones%20Audios%2FReuni%C3%B3n%20MinEnerg%C3%ADa%2DUPME%2017%2D11%2D22%2Em4a&referrer=Teams%2ETEAMS%2DELECTRON&referrerScenario=teamsSdk%2DopenFilePreview |

| **MINUTA DE REUNIÓN VIRTUAL CON MINISTERIO DE AGRICULTURA** | |
|---|---|
| Fecha y hora: | 06-Diciembre de 2022 , 9:00 am |
| Proyecto | Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia: *Estudio de concepto de exploradores de potencial energético solar y de biomasa* |
| Propósito | Reunión de presentación de resultados del Proyecto Cooperación Triangular Alemania-Chile-Colombia: *Estudio de concepto de exploradores de potencial energético solar y de biomasa,* y acercamiento con el Ministerio de Agricultura para determinar entidades que puedan proveer información de geo-localizada de cultivos para la zona de estudio. |

| | |
|---|---|
| Director de reunión | Rocío Sierra e Isabel Cárdenas |
| Participantes | Uniandes: Rocío Sierra, Norymar Becerra, Haydemar Nuñez, Andrés Calderón, Iván Carroll.<br>Ministerio Agricultura:<br>Isabel Cárdenas (Grupo de Sostenibilidad y Cambio Climático),<br>Carolina Cuellar (Fedearroz)<br>María Margarita Soto Diaz (Dirección de cadenas agrícolas y forestales )<br>Otto Emil Vila Florez<br>Carlos Alberto Muñoz Vanegas (Secretario técnico de cacao y cultivos promisorios),<br>GIZ: Alicia Gonzalves |

**Resumen de reunión**

Por parte de Uniandes:

- Se hizo una presentación de los avances de resultados del proyecto, con un breve resumen de la metodología de la sección de la zona a partir de indicadores socioeconómicos y físicos bajo el modelado de lógica difusa.
- Se presentó el propósito de los productos del explorador de biomasa y energía solar
- Se presentó el análisis de cómo se seleccionó la zona de estudio, teniendo en cuenta que a partir del índice de vulnerabilidad calculado, el Departamento del Putumayo es el de mayor valor pero con un área sembrada muy baja, por lo tanto para efectos del desarrollo de la prueba de concepto del explorador de biomasa, se descarta esta zona. Los siguientes departamentos sujetos a ser zonas de estudios son el Cesar y Bolívar, con índices de vulnerabilidad similares y áreas cultivadas promedios con mayor presencia en palma de aceite y maíz.
- Se planteó la necesidad de establecer contacto con las cadenas agrícolas de cultivos de la zona de estudio, en los Departamentos del Cesar y Bolívar, para solicitud de información, ya que con la información que se cuenta actualmente de las evaluaciones agrícolas de la UPRA, hay información probablemente desactualizada.

Intervenciones:

- Carlos Alberto, sugirió tomar en cuenta el cultivo de cacao en Cesar y Bolívar, sin embargo, en los municipios PDET pre-seleccionados no hay presencia significativa de cultivo de cacao.
- Desde el desarrollo del proyecto en Uniandes se podrían tomar en cuenta otros cultivos como arroz, yuca y café para los departamentos de Cesar y Bolívar.
- Desde MinAgricultura consultaron a que se refiere municipios vulnerables, y se especificó que la vulnerabilidad es socioeconómica y que el proyecto está enfocado en hacer pruebas de concepto en zonas de estudios, y se aspira a futuro que el proyecto continué para extender la aplicación del explorador a todas las regiones del país.

- Desde el MinAgricultura, sugieren hacer la selección de los cultivos, tomando en cuenta que el enfoque actual del ministerio es la seguridad alimentaria, así que la opción del maíz estaría dentro de la directriz actual del ministerio.
- Desde FEDEARROZ, Carolina Cuellar, sugiere tomar en cuenta los cultivos de arroz, ya que desde esta federación nos podrían apoyar con información, y en algunos de los municipios hay cultivos de este rubro, como por ejemplo, en Bolívar-María la Baja. Se sugiere tener una reunión con FEDEARROZ para solicitar la información geo-localizada, de los cultivos de las zonas de estudio.
- Para acceder a la información de maíz hay que contactar a FENALCE para ver si posean información geo-referenciada de los cultivos en la zona de estudio.
- Para acceder a la información de los cultivos de yuca, se puede contactar al secretario de esta cadena, Felipe Bareño.

Contactos:

María Margarita Soto: maria.soto@minagricultura.gov.co Celular: 312-xxxxxxx
Carolina Cuellar: carolinacuellar@fedearroz.com.co Celular: 300- xxxxxxx

**Recomendaciones y compromisos**

- Desde Uniandes enviar un correo a MinAgricultura, con un resumen del propósito del proyecto y la información que se requiere de los cultivos, y con cuáles entidades se desean las próximas reuniones.
- Desde el Ministerio de Agricultura se ofrecieron para establecer contacto con FENALCE, secretario de cultivo de yuca, y tal vez FEDEPALMA para planificar una reunión próximamente para presentar el proyecto y solicitar la información necesaria para el desarrollo del explorador de biomasa.
- Contactar a FEDEARROZ para presentar el proyecto y establecer cooperación con la solicitud de información, en caso de que el arroz sea uno de los cultivos seleccionados.

**Link de audio de reunión**

https://uniandes.sharepoint.com/sites/cc644/_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fsites%2Fcc644%2FDocumentos%20compartidos%2FGeneral%2FRecordings%2FReuniones%20Audios%2FReuni%C3%B3n%20MinAgricultura%2006%2D12%2D22%2Em4a&referrer=Teams%2ETEAMS%2DELECTRON&referrerScenario=teamsSdk%2DopenFilePreview

# ANEXO 4.

## Listado de municipios PDET de los ocho departamentos con mayor promedio en el índice de potencialidad

Tabla 3. Listado de municipios PDET de los ocho departamentos con mayor promedio en el índice de potencialidad

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| PUTUMAYO | SAN MIGUEL | 0,431 | 379 |
| PUTUMAYO | PUERTO GUZMAN | 0,426 | 4572 |
| PUTUMAYO | VALLE DEL GUAMUEZ | 0,423 | 813 |
| PUTUMAYO | PUERTO CAICEDO | 0,423 | 925 |
| PUTUMAYO | PUERTO ASIS | 0,422 | 2815 |
| PUTUMAYO | ORITO | 0,404 | 1935 |
| PUTUMAYO | VILLAGARZON | 0,382 | 1394 |
| PUTUMAYO | MOCOA | 0,273 | 1302 |
| PUTUMAYO | PUERTO LEGUIZAMO | 0,238 | 10903 |
| | | **0,380** | **25037** |

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| CESAR | AGUSTIN CODAZZ | 0,371 | 1753 |
| CESAR | BECERRIL | 0,397 | 1225 |
| CESAR | LA JAGUA DE IBIRICO | 0,374 | 756 |
| CESAR | LA PAZ | 0,364 | 1073 |
| CESAR | MANAURE | 0,338 | 137 |
| CESAR | PUEBLO BELLO | 0,409 | 744 |
| CESAR | SAN DIEGO | 0,389 | 646 |
| CESAR | VALLEDUPAR | 0,339 | 4188 |
| | | **0,373** | **10521** |

| DEPARTAMEN | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| BOLIVAR | SANTA ROSA DEL SUR | 0,406 | 2383 |
| BOLIVAR | SAN PABLO | 0,314 | 2021 |
| BOLIVAR | SIMITI | 0,396 | 1355 |
| BOLIVAR | MORALES | 0,356 | 1348 |
| BOLIVAR | ARENAL | 0,368 | 462 |
| BOLIVAR | CANTAGALLO | 0,339 | 882 |
| BOLIVAR | MARIA LA BAJA | 0,336 | 561 |
| BOLIVAR | EL GUAMO | 0,357 | 383 |
| BOLIVAR | SAN JACINTO | 0,369 | 443 |
| BOLIVAR | SAN JUAN NEPOMUCENO | 0,356 | 631 |
| BOLIVAR | CORDOBA | 0,362 | 597 |
| BOLIVAR | EL CARMEN DE BOLIVAR | 0,377 | 946 |
| BOLIVAR | ZAMBRANO | 0,381 | 309 |
| | | **0,363** | **12320** |

| DEPARTAMEN | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| CAQUETA | LA MONTAÑ | 0,390 | 1700 |
| CAQUETA | FLORENCIA | 0,384 | 2546 |
| CAQUETA | SOLITA | 0,378 | 477 |
| CAQUETA | MILAN | 0,376 | 1220 |
| CAQUETA | ALBANIA | 0,355 | 412 |
| CAQUETA | MORELIA | 0,348 | 462 |
| CAQUETA | CURILLO | 0,343 | 399 |
| CAQUETA | VALPARAISO | 0,334 | 1329 |
| CAQUETA | CARTAGENA | 0,329 | 12785 |
| CAQUETA | EL PAUJIL | 0,304 | 1234 |
| CAQUETA | EL DONCELLO | 0,298 | 1106 |
| CAQUETA | PUERTO RICO | 0,290 | 4145 |
| CAQUETA | BELEN DE LO | 0,270 | 1190 |
| CAQUETA | SAN VICENTE | 0,250 | 20192 |
| CAQUETA | SOLANO | 0,204 | 42290 |
| CAQUETA | SAN JOSE DE | 0,194 | 1308 |
| | | **0,305** | 92795 |

| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| NORTE DE SANTANDER | TIBU | 0,389 | 2679 |
| NORTE DE SANTANDER | SARDINATA | 0,382 | 1467 |
| NORTE DE SANTANDER | SAN CALIXTO | 0,381 | 398 |
| NORTE DE SANTANDER | EL TARRA | 0,347 | 704 |
| NORTE DE SANTANDER | HACARI | 0,341 | 419 |
| NORTE DE SANTANDER | TEORAMA | 0,240 | 927 |
| NORTE DE SANTANDER | EL CARMEN | 0,223 | 1727 |
| NORTE DE SANTANDER | CONVENCION | 0,123 | 932 |
| | | **0,303** | 9252 |

| DEPARTAMEN | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| ANTIOQUIA | SEGOVIA | 0,392 | 1127 |
| ANTIOQUIA | REMEDIOS | 0,378 | 1973 |
| ANTIOQUIA | VIGIA DEL FUERTE | 0,363 | 1658 |
| ANTIOQUIA | ZARAGOZA | 0,362 | 1167 |
| ANTIOQUIA | EL BAGRE | 0,348 | 1560 |
| ANTIOQUIA | MURINDO | 0,334 | 1264 |
| ANTIOQUIA | CAUCASIA | 0,327 | 1428 |
| ANTIOQUIA | CACERES | 0,315 | 1874 |
| ANTIOQUIA | AMALFI | 0,314 | 1209 |
| ANTIOQUIA | DABEIBA | 0,312 | 1954 |
| ANTIOQUIA | MUTATA | 0,312 | 1073 |
| ANTIOQUIA | SAN PEDRO DE URABA | 0,310 | 602 |
| ANTIOQUIA | ANORI | 0,310 | 1413 |
| ANTIOQUIA | TARAZA | 0,309 | 1148 |
| ANTIOQUIA | BRICEÑO | 0,308 | 376 |
| ANTIOQUIA | YONDO | 0,296 | 1895 |
| ANTIOQUIA | VALDIVIA | 0,284 | 567 |
| ANTIOQUIA | TURBO | 0,284 | 2917 |
| ANTIOQUIA | CHIGORODO | 0,283 | 720 |
| ANTIOQUIA | NECHI | 0,274 | 937 |
| ANTIOQUIA | NECOCLI | 0,270 | 1253 |
| ANTIOQUIA | CAREPA | 0,227 | 387 |
| ANTIOQUIA | ITUANGO | 0,194 | 2838 |
| ANTIOQUIA | APARTADO | 0,184 | 534 |
| | | **0,304** | **31876** |

| DEPARTAMEN | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| META | PUERTO LLERAS | 0,393 | 2535 |
| META | PUERTO CONCORDIA | 0,367 | 1242 |
| META | MAPIRIPAN | 0,351 | 11932 |
| META | LA MACARENA | 0,303 | 8118 |
| META | PUERTO RICO | 0,236 | 3427 |
| META | MESETAS | 0,227 | 2281 |
| META | URIBE | 0,215 | 6461 |
| META | VISTAHERMO | 0,187 | 4819 |
| | | **0,285** | 40815 |

| DEPARTAMEN | MUNICIPIO | INDICE | AREA (Km^2) |
|---|---|---|---|
| GUAVIARE | SAN JOSE DEL GUAVIARE | 0,404 | 16730 |
| GUAVIARE | MIRAFLORES | 0,346 | 12791 |
| GUAVIARE | EL RETORNO | 0,175 | 12882 |
| GUAVIARE | CALAMAR | 0,126 | 13065 |
| | | 0,263 | 55468 |

# ANEXO 5

## Caracterización del Departamento del Bolívar

Ubicado al norte de Colombia, en la región caribe, está conformado por **46 municipios**, tiene una extensión total de **2.597.800 Ha** y allí habitan **1.909.460** personas[19]. El índice de desarrollo humano[20] del Bolívar es de **0,756** siendo muy similar al promedio de Colombia (0,752) y superior al promedio mundial (0,732)[21]. Bolívar ocupa el **décimo tercer** puesto entre los departamentos de Colombia de acuerdo con este indicador.

El Departamento de Bolívar tuvo una participación del **3,5%** del PIB Nacional en el 2021[22] ocupando el **séptimo puesto** por la contribución departamental al PIB nacional, el séptimo en el PIB de industrias manufactureras, el octavo por PIB suministros y solamente el **decimoséptimo por PIB agrícola**[23], sin embargo el sector agrícola se ha desarrollado ampliamente en los últimos años. Su área sembrada de **247.131 Ha** (el 9,5% del terreno departamental) es la **décima** departamental más grande dedicada a la agricultura en Colombia[24].

El promedio del índice de potencialidad (desarrollado en este estudio) de los **13 municipios PDET** del Bolívar (**0,3627**), fue el **tercero** departamental más alto, por lo que estos municipios hacen parte de la zona de estudio que se considera en este trabajo.

Respecto de los productos futuros de este trabajo, perspectivas respecto del explorador solar se discuten en la Sección 5 y en consideración del potencial energético de la biomasa residual agrícola, vale la pena destacar que en el **Bolívar** se encuentran los mismos cultivos principales que en el resto del territorio nacional (los cuales se discuten en la misma sección) a excepción de la caña de azúcar que no es un cultivo importante en este departamento. En la Figura 6 se muestra el porcentaje del área total sembrada de los cultivos más importantes para el Departamento y para los **13 municipios seleccionados**. Se observa que particularmente **el arroz** se siembra menos en los municipios seleccionados que en el Departamento, sin embargo, hay similitudes importantes en los cultivos de cacao, café, maíz, palma de aceite y yuca.

Detalles de estos cultivos para cada uno de los municipios, se presenta en la Tabla 4 En total para **7 de los 13** municipios seleccionados el cultivo con mayor área sembrada es **maíz** y corresponde a cerca de **30.500**

[19] DANE. Resultados del censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Cartagena de Indias, Bolívar. Junio de 2019. https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190712-CNPV-presentacion-bolivar.pdf
[20] IDH creado por United Nations Development Programme es un indicador en el rango de 0 a 1 que considera expectativa de vida, ganancias (salario, nivel de vida digno) y educación.
[21] https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks
[22] DANE. PIB por departamento, información 2021 preliminar. En precios corrientes base 2015, corresponde a COP41.698.000.0000
[23] DANE. https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/economia/pib-departamental/
[24] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.

**Ha**. Otro cultivo que está entre las mayores áreas sembradas es **la palma de aceite con cerca de 24.500 Ha**. Adicionalmente, se encuentra que la yuca destaca por cultivarse en todos los 13 municipios y es el tercer promedio de área sembrada, por su parte el cacao y el arroz se cultivan en áreas sembradas muy modestas y el café no se cultiva en 9 de los 13 municipios.

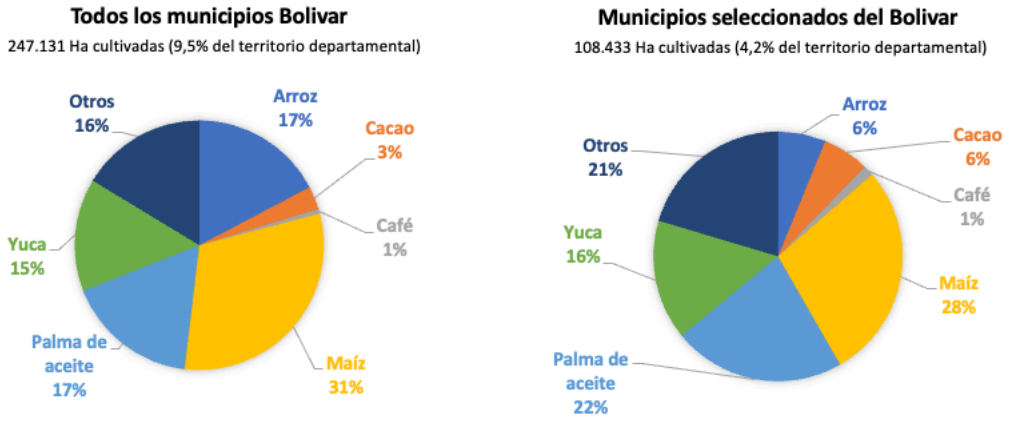



Figura 7. Comparativo entre las áreas sembradas de los cultivos más importantes en del Departamento del Bolívar y los 13 municipios PDET seleccionados en este departamento (promedios de 2021)[25]

Por otra parte, en el departamento de Bolívar se encuentra un total de **55 áreas protegidas** (terrestre y marítima) que suman **6093 Ha** (**0,23%** de la extensión del territorio departamental). Entre las zonas protegidas destacan los santuarios de flora y fauna silvestre conocidos como *El Corchal El Mono Hernández*, el cual cuenta con 1248 Ha en Bolívar y 2622 Ha en Sucre y *Los Colorados* de una extensión de 1042 Ha totales en Bolívar[26].

[25] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.
[26] https://runap.parquesnacionales.gov.co/departamento/926

Tabla 4. Datos relevantes (promedios 2021) para cada municipio seleccionado en el Departamento del Bolívar[27]

| Municipios PDET | Indice[a] | Superficie del municipio (Ha) | | | No.[c] | Porcentaje del área sembrada para cada cultivo en cada municipio | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | Cultivada Ha | Cultivada[b] % | | Arroz | Cacao | Café | Maíz | Palma de aceite | Yuca | Otros | Detalles sobre otros cultivos |
| **1. Arenal** | 0,3684 | 45.900 | 2.472 | 5 | 6 | 6 | 9 | No | 64 | 3 | 8 | 10 | Plátano |
| **2. Cantagallo** | 0,3386 | 87.000 | 2.318 | 3 | 6 | 5 | 5 | No | 20 | 22 | 43 | 5 | Plátano |
| **3. Córdoba** | 0,3618 | 15.000 | 3.282 | 22 | 8 | 24 | No | No | 4 | No | 14 | 58 | Principalmente ajonjolí (54% del área cultivada) |
| **4. Carmen de Bolívar** | 0,3770 | 95.400 | 12.614 | 13 | 15 | 4 | 3 | No | 12 | <1 | 35 | 46 | Principalmente aguacate (12% del área cultivada) |
| **5. El Guamo** | 0,3569 | 39.000 | 3.565 | 9 | 11 | No | No | No | 56 | No | 41 | 3 | Principalmente mango, plátano y ahuyama |
| **6. María la baja** | 0,3358 | 54.700 | 20.195 | 37 | 9 | 6 | <1 | No | 49 | 30 | 5 | 10 | Principalmente ñame y fríjol |
| **7. Morales** | 0,3560 | 133.800 | 7.037 | 5 | 11 | 17 | 2 | 1 | 25 | 20 | 15 | 20 | Principalmente fríjol, ahuyama y plátano |
| **8. San Jacinto** | 0,3689 | 46.200 | 10.296 | 22 | 24 | 4 | 2 | 1 | 35 | 1 | 24 | 33 | Principalmente ñame, variadas frutas y hortalizas |
| **9. San Juan Nepomuceno** | 0,3557 | 67.500 | 8.390 | 12 | 9 | No | 1 | No | 43 | No | 26 | 30 | Principalmente ají, fríjol y ñame |
| **10. San Pablo** | 0,3135 | 208.600 | 15.241 | 7 | 12 | 11 | 8 | No | 13 | 57 | 5 | 6 | Varias frutas especialmente plátano, además ñame y fríjol |
| **11. Santa Rosa del Sur** | 0,4059 | 28.000 | 9.656 | 34 | 9 | No | 31 | 14 | 21 | No | 6 | 28 | Principalmente caña, plátano y fríjol |
| **12. Simití** | 0,3958 | 123.800 | 8.657 | 7 | 8 | 7 | 12 | No | 5 | 73 | 1 | 2 | Principalmente aguacate, plátano y fríjol |
| **13. Zambrano** | 0,3813 | 30.200 | 4.710 | 16 | 9 | No | 31 | No | 31 | No | 27 | 12 | Principalmente fríjol |
| **TOTAL CULTIVADO (Ha)** | | | **108.433** | | | **6.489** | **6.475** | **1.455** | **30.427** | **24.583** | **16.913** | **22.092** | |

[a] Indice de potencialidad calculado de acuerdo con la metodología empleada en este estudio
[b] Porcentaje del área cultivada con respecto al área total del correspondiente municipio
[c] Número total de especies cultivadas en el municipio
En amarillo, el mayor valor porcentual y en rosado el segundo mayor valor porcentual observado para cada municipio.

[27] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.

# ANEXO 6

## Caracterización del Departamento del Cesar

Ubicado al norte de Colombia, en la región caribe, está conformado por **25 municipios**, tiene una extensión total de **2.290.500 Ha** y allí habitan **1.243.503 personas**[28]. El índice de desarrollo humano[29] del Cesar es de **0,729** que está por debajo del promedio de Colombia (0,752) y del promedio mundial (0,732)[30]. Cesar ocupa el **vigésimo primer** puesto entre los departamentos de Colombia de acuerdo con este indicador.

El Departamento de Cesar tuvo una participación del **2,0%** del PIB Nacional en el 2021[31] ocupando el **undécimo primer puesto** por la contribución departamental al PIB nacional, el tercero en el PIB de explotación de minas y canteras, el octavo por PIB suministros y solamente el **decimoquinto por PIB agrícola**[32], sin embargo, la agricultura y ganadería son actividades económicas principales en el departamento. Su área sembrada de **212.408 Ha** (el 9,3% del terreno departamental) es la **duodécima** departamental más grande dedicada a la agricultura en Colombia[33].

El promedio del índice de potencialidad (desarrollado en este estudio) de los **8 municipios PDET** del Bolívar (**0,3726**), fue el **segundo** departamental más alto, por lo que estos municipios hacen parte de la zona de estudio que se considera en este trabajo.

Respecto de los productos futuros de este trabajo, perspectivas respecto del explorador solar se discuten en la Sección 5 y en consideración del potencial energético de la biomasa residual agrícola, vale la pena destacar que en el **Cesar** se encuentran los mismos cultivos principales que en el resto del territorio nacional (los cuales se discuten en la misma sección) a excepción de la caña de azúcar que no es un cultivo importante en este departamento. En la Figura 7 se muestra el porcentaje del área total sembrada de los cultivos más importantes para el Departamento y para los **8 municipios seleccionados**. Se observa que

particularmente **la palma de aceite** se siembra menos en los municipios seleccionados que en el Departamento, sin embargo, hay similitudes importantes en los cultivos de arroz, cacao, café, maíz y yuca.

Detalles de estos cultivos para cada uno de los municipios, se presenta en la Tabla 5. En total para **3 de los 8** municipios seleccionados el cultivo con mayor área sembrada es **palma de aceite** y corresponde a

[28] DANE. Resultados del censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Valledupar, Cesar. Septiembre de 2019. https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/050919-CNPV-presentacion-Cesar.pdf
[29] IDH creado por United Nations Development Programme es un indicador en el rango de 0 a 1 que considera expectativa de vida, ganancias (salario, nivel de vida digno) y educación.
[30] https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks
[31] DANE. PIB por departamento, información 2021 preliminar**.** En precios corrientes base 2015, corresponde a COP20.725.000.0000
[32] DANE. https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/economia/pib-departamental/
[33] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.

cerca de **22.300 Ha**. Otro cultivo que está entre las mayores áreas sembradas es **el café con casi 20.300 Ha**. Adicionalmente, se encuentra que la yuca destaca por cultivarse en todos los 8 municipios aunque con un área sembrada modesta frente a otros cultivos como el arroz (cultivado en 5 de los 8 municipios) y el cacao que también se cultiva en todos los municipios. Adicionalmente, se resalta que Valledupar, la capital del departamento del Cesar, cultiva un total de 30 Ha en arroz siendo este cultivo de arroz el más alto de todo el estudio.

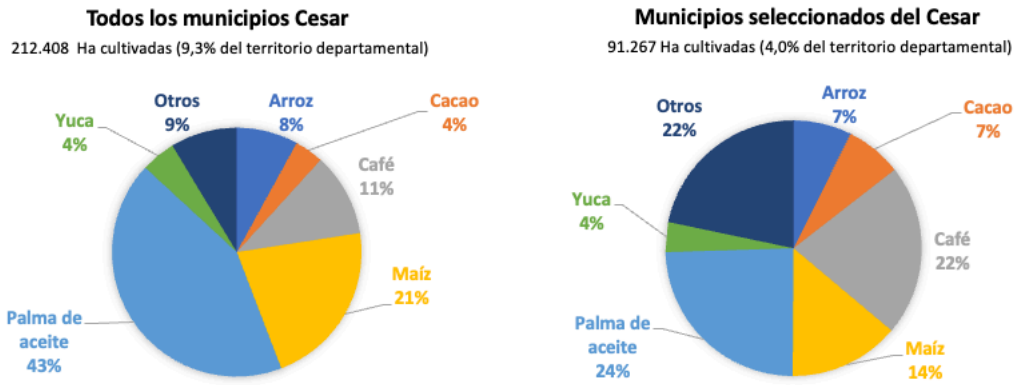



Figura 8. Comparativo entre las áreas sembradas de los cultivos más importantes en del Departamento del Cesar y los 8 municipios PDET seleccionados en este departamento (promedios de 2021)[34]

Por otra parte, en el departamento de Cesar se encuentra un total de **21 áreas protegidas** (terrestre y marítima) que suman **184.830 Ha** (**8,0%** de la extensión del territorio departamental). Entre las zonas protegidas destaca el Distrito Regional de Manejo Integrado (área protegida con uso sostenible de recursos naturales) conocida como *Complejo Cenagoso de Zapatoza*, el cual cuenta con 114.158 Ha en Cesar y 25568 Ha en Magdalena y el Parque Nacional Natural *Sierra Nevada de Santa Marta* de una extensión de 41974 Ha en Cesar, 201.907 Ha en Magdalena y 157.538 Ha en La Guajira [35].

[34] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.
[35] https://runap.parquesnacionales.gov.co/departamento/926

Tabla 5. Datos relevantes (promedios 2021) para cada municipio seleccionado en el Departamento del Cesar[36]

| Municipio | Indice[a] | Superficie del municipio (Ha) | | | No.[c] | Porcentaje del área sembrada para cada cultivo en cada municipio | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | Cultivada Ha | Cultivada[b] % | | Arroz | Cacao | Café | Maíz | Palma de aceite | Yuca | Otros | Detalles sobre otros cultivos |
| **1. Agustín Codazzi** | 0,3714 | 173.900 | 18.192 | 10 | 19 | 2 | 5 | 27 | 2 | 55 | 1 | 8 | Principalmente algodón, caña, mango, plátano, fríjol |
| **2. Becerril** | 0,3969 | 114.400 | 11.641 | 10 | 16 | 12 | 1 | 6 | 21 | 35 | 6 | 19 | Principalmente algodón, aguacate, mango, plátano, ahuyama y fríjol |
| **3. La Jagua de Ibiricó** | 0,3737 | 728.900 | 12.052 | 2 | 32 | 8 | 11 | 25 | 8 | 15 | 11 | 22 | Principalmente aguacate, plátano, tomate, fríjol y malanga |
| **4. Manaure Balcón de Cesar** | 0,3379 | 126.100 | 2.552 | 2 | 16 | No | 10 | 30 | 30 | No | 3 | 27 | Principalmente aguacate, plátano y fríjol |
| **5. Pueblo Bello** | 0,4094 | 733.700 | 12.075 | 2 | 11 | No | 16 | 44 | 8 | No | 4 | 28 | Plátano constituye el 14% del área cultivada |
| **6. La Paz** | 0,3639 | 47.500 | 14.531 | 31 | 25 | No | 7 | 28 | 10 | 11 | 3 | 41 | Principalmente banano y fríjol, ambos constituyen el 20% del área cultivada |
| **7. San Diego** | 0,3888 | 67.000 | 4.470 | 7 | 14 | 2 | 2 | No | 35 | 45 | 2 | 14 | Principalmente plátano y fríjol |
| **8. Valledupar** | 0,3387 | 3.000.000 | 16.636 | 1 | 22 | 30 | 5 | 13 | 13 | 18 | 2 | 19 | Principalmente Plátano, mango, banano, fríjol, caña |
| **TOTAL CULTIVADO (Ha)** | | | **92.149** | | | **7.577** | **6.295** | **20.296** | **12.727** | **22.243** | **3.231** | **19.780** | |

[a] Indice de potencialidad calculado de acuerdo con la metodología empleada en este estudio
[b] Porcentaje del área cultivada con respecto al área total del correspondiente municipio
[c] Número total de especies cultivadas en el municipio
En amarillo, el mayor valor porceual y en rosado el segundo mayor valor porcentual observado para ada municipio.

[36] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.

# ANEXO 7

## Caracterización del Departamento del Putumayo

Ubicado al sur de Colombia, está conformado por **13 municipios** de los cuales 9 hacen parte de los territorios focalizados PDET. Putumayo tiene una extensión total de **2.488.500 Ha** y allí habitan **283,197 personas**[37]. El índice de desarrollo humano[38] del Putumayo es de **0,717** que está por debajo del promedio de Colombia (0,752) y del promedio mundial (0,732)[39]. Putumayo ocupa el **vigésimo octavo** puesto entre los departamentos de Colombia de acuerdo con este indicador.

El Departamento de Putumayo tuvo una participación del **0,3%** del PIB Nacional en el 2021[40] ocupando el **vigésimo séptimo puesto** por la contribución departamental al PIB nacional, el undécimo en el PIB de explotación de minas y canteras pero solamente el **vigésimo sexto por PIB agrícola**[41], sin embargo, la agricultura en Putumayo es una actividad económica importante. Su área sembrada de **38.880 Ha** (el 1,5% del terreno departamental) es la **vigésimo cuarta** departamental más grande dedicada a la agricultura en Colombia[42].

El promedio del índice de potencialidad (desarrollado en este estudio) de los **9 municipios PDET** del Putumayo (**0,3802**), fue el **primero** departamental más alto, sin embargo, estos municipios no se consideran en este trabajo, en consideración a que el área sembrada del Putumayo es muy baja en comparación con la de otros departamentos con índices de potencialidad muy similares, como se conversó en reuniones con MinEnergía.

En la Tabla 6 se muestra el porcentaje del área total sembrada de los cultivos más importantes para los **9 municipios seleccionados**. Se observa que particularmente **el plátano y el banano** son los cultivos más sembrados y con menos preponderancia también **el cacao**. Otros cultivos importantes en el Putumayo son arroz, caña, maíz y yuca.

---

[37] DANE. Resultados del censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Valledupar, Cesar. Septiembre de 2019. https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/050919-CNPV-presentacion-Cesar.pdf

[38] IDH creado por *United Nations Development Programme* es un indicador en el rango de 0 a 1 que considera expectativa de vida, ganancias (salario, nivel de vida digno) y educación.

[39] https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks

[40] DANE. PIB por departamento, información 2021 preliminar**.** En precios corrientes base 2015, corresponde a COP4.091.000.000

[41] DANE. https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/economia/pib-departamental/

[42] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.

Tabla 6. Detalles de los cultivos principales en el departamento de Putumayo[43]

| Cultivo | Superficie cultivada | | No. |
|---|---|---|---|
| | Ha | % | |
| Arroz | 1.566 | 4 | 7 |
| Cacao | 5.608 | 14 | 9 |
| Café | 224 | 1 | 2 |
| Caña | 1.757 | 5 | 9 |
| Maíz | 7.485 | 19 | 9 |
| Palma de aceite | 12 | <1 | 1 |
| Plátano y banano | 9.886 | 25 | 9 |
| Yuca | 3.602 | 9 | 9 |
| Otros | 10.306 | 27 | |
| **TOTAL** | **38.880** | | |

Por otra parte, en el departamento de Putumayo se encuentra un total de **17 áreas protegidas** (terrestre y marítima) que suman **488.297 Ha** (**20%** de la extensión del territorio departamental). Esta extensión de área protegida es más del 50% mayor en áreas protegidas que la del segundo departamento con índice de potencialidad alto según la metodología aplicada en este estudio. Entre las zonas protegidas destaca el parque *La Paya*, el cual cuenta con 440.125 Ha y la reserva forestal protegida *Cuenca Alta del Río Mocoa* de una extensión de 30.850 Ha[44].

[43] Evaluaciones Municipales Agropecuarias. 2019, 2020, 2021.
[44] https://runap.parquesnacionales.gov.co/departamento/926