



ANEXOS



Anexo A

Anexo A



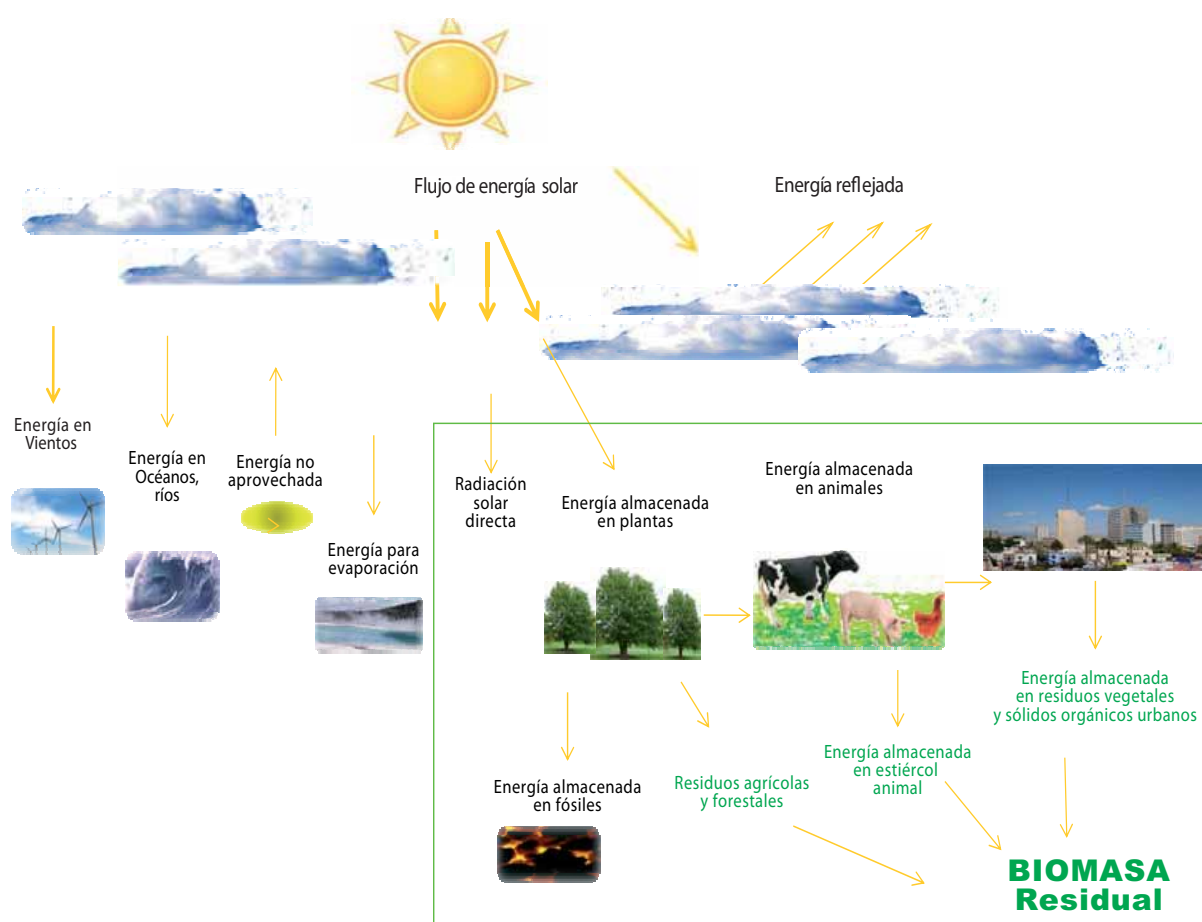
Biomasa, fuente renovable de energía

INTRODUCCIÓN

El motor principal de la dinámica de los ecosistemas es la energía solar, la cual, de acuerdo con la Primera Ley de la Termodinámica, nunca se destruye, siempre se transforma.

No toda la energía solar entra al ecosistema, una parte es absorbida y reflejada por las capas atmosféricas (ver Figura 6). La energía solar es almacenada por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis y fluye a lo largo de la cadena trófica siendo finalmente almacenada en la biomasa residual.

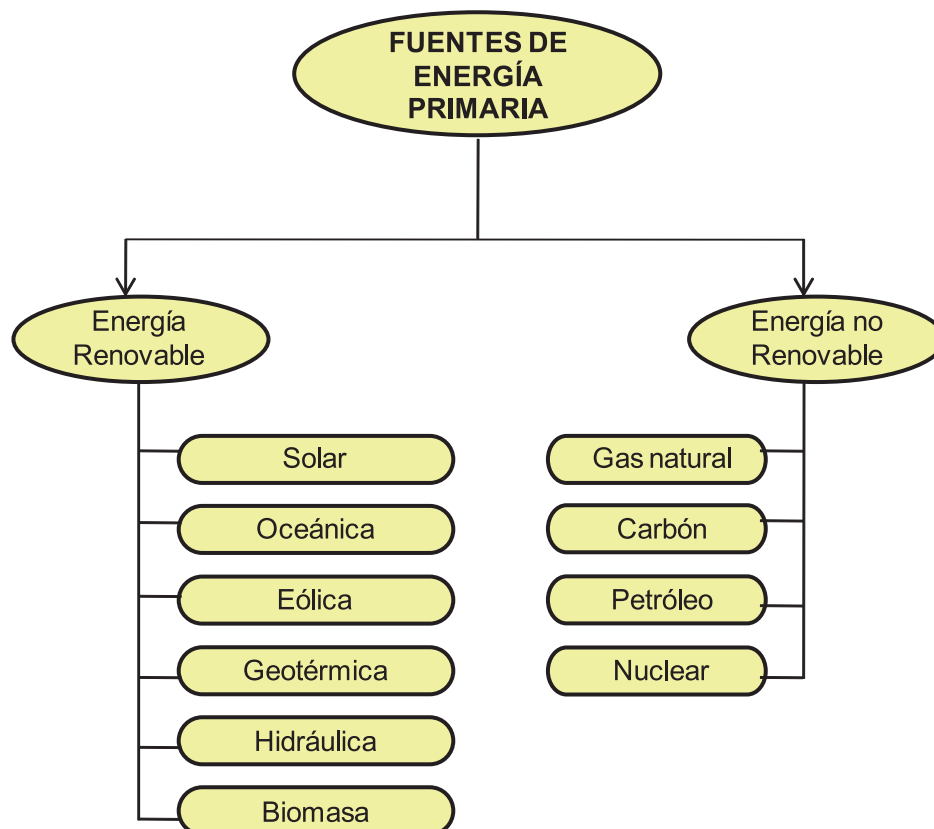
Figura 6. Flujos de energía solar almacenados en biomasa residual



Las fuentes energéticas se clasifican, en función de su procedencia, en recursos renovables y no renovables (ver Figura 7). En el primer grupo se destacan la energía hidráulica, la solar, la eólica, la energía de la biomasa y la geotermia. Estas fuentes se

caracterizan por ser inagotables. Las fuentes no renovables se encuentran limitadas y sus reservas disminuyen a medida que se consumen; por ejemplo el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio.

Figura 7. Clasificación de las fuentes de energía



1. BIOMASA

Biomasa es la materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre llamada biosfera, la cual representa una fracción muy pequeña de la masa terrestre. Los residuos que se generan a partir de los procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también se constituyen en biomasa.

La biomasa es un recurso muy variado debido a su producción y origen en los sistemas terrestres y acuáticos, lo que influye directamente sobre sus características físicas y químicas.

Se considera que la biomasa es renovable porque forma parte del flujo natural y repetitivo de los procesos en la naturaleza (a escala de tiempo de vida humana) siendo las plantas quienes inician este proceso con la fotosíntesis, para captar la energía del sol. La biomasa es un elemento indispensable para mantener el equilibrio ecológico y permite conservar y enriquecer la diversidad biológica y el suelo.

La biomasa residual hace referencia a los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica. Algunos ejemplos de biomasa son los residuos de las cosechas, las podas de zonas

verdes urbanas, los efluentes ganaderos, los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y los residuos orgánicos de plazas de mercado.

En la composición de la biomasa se encuentran grandes cantidades de carbono, oxígeno e hidrógeno. Las cadenas largas del tipo C_nH_m ; constituyen los compuestos involucrados en las reacciones exotérmicas generadoras de energía (Bhattacharya P., *et. al.*, 2005). Por consiguiente la biomasa presenta una gran cantidad de energía almacenada en su conjunto de componentes orgánicos de origen vegetal y animal; ejemplo, cualquier especie y sus residuos contienen energía (Mckendry P., *(Part 1)* 2002; Skoulou, V. and Zabaniotou A., 2007; Horta L.A., Silva, E.E., 2003).

Cuando la biomasa se somete a un proceso de combustión, el aporte al calentamiento global por sus emisiones de CO_2 es neutro (Miltner M. *et. al.* 2006), lo cual significa que su uso como recurso energético no contribuye a aumentar la proporción de CO_2 en la atmósfera, siempre y cuando exista un balance cero entre la biomasa producida por el medio natural y la usada en la producción de energía.

La valorización energética de la biomasa está dada por la cantidad de energía que contiene y que puede llegar a liberar cuando se somete a un proceso de conversión energética. Las características de la biomasa la convierten en una fuente atractiva para ser aprovechada energéticamente.

Gran parte de la población rural en los países en vía de desarrollo, que representan cerca del 50% de la población mundial, aún dependen de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía. La biomasa suple aproximadamente el 35% del consumo de la energía primaria en países subdesarrollados y alcanza un 14% del total de la energía consumida en el mundo (*Biomass Users Network Centroamérica - BUN-CA*, 2002; McKendry, 2002). Según el informe de Estadísticas Energéticas (OLADE, 2006)

en Suramérica, el consumo de biomasa para procesos de transformación, consumo propio y pérdidas, ha tenido una tasa de crecimiento favorable, siendo liderado por Argentina con 10,39%. Colombia, en el año 2006, presentó una tasa de crecimiento en el consumo de biomasa de 2,38%, lo cual indica que el país ha comenzado a tomar conciencia sobre la importancia de explotar de forma más tecnificada y organizada esta fuente energética.

Colombia, por su posición geográfica y variedad de climas, ofrece condiciones favorables para el desarrollo de las actividades agropecuarias. El país cuenta con una superficie continental de 114.174.800 hectáreas, de las cuales el 44,77% se estima que se destina a la actividad agropecuaria (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006). Esto evidencia que en Colombia el sector agropecuario es una fuente importante de biomasa residual.

Por otra parte cabe resaltar que Colombia posee un área marítima de 928.660 km^2 , con enorme variedad de hábitats acuáticos continentales y marinos en los que es posible encontrar una gran biodiversidad y por lo tanto disponer de un abanico amplio de alternativas de fuentes de biomasa. Como ejemplo se puede citar las algas, cuyos aceites es posible transformarlos en biodiesel, mediante un proceso de hidrotreatmento o transesterificación (Chisti, Y., 2007). Las algas son los organismos fotosintéticos más eficaces para la captación de radiación solar (Donghui *et al.*, 2008). Colombia, por estar localizada en la región ecuatorial, ofrece una ventaja sobre muchos países para la producción de algas, ya que no está sujeta a ciclos estacionales que requieren gastos extras de energía para poder mantener una producción estable y sostenida a lo largo de todo el año.

En el 2005 el país reportó 4.058.470 hectáreas dedicadas al cultivo de especies permanentes y transitorias como la caña de azúcar, la palma de aceite, el arroz, la caña panelera, el maíz, el café, el banano y el plátano

(Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006). Del proceso de corte y transformación de la cosecha se generan diferentes tipos de biomasa residual agrícola que se clasifica, según su origen, en residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales.

En Colombia, el sector pecuario cuenta con el 76% (38.848.204 ha) del área total destinada a las actividades agropecuarias. El sector está representado en un 40% por la ganadería bovina, 40% por la explotación avícola, 10% por la actividad porcícola y el restante 10% reúne las actividades caprinas, ovinas, piscícola y equina principalmente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006). Según los datos anteriores, los sistemas de producción pecuaria que se desarrollan en el país generan grandes volúmenes de estiércol, que constituyen una fuente importante de biomasa residual. La producción de biomasa residual del sector pecuario depende principalmente de factores como el tipo de animal, su estado fisiológico, su peso corporal y su dieta alimenticia, siendo su grado de dispersión en el terreno donde se produce, un elemento limitante de su aprovechamiento.

De otra parte, los 32 departamentos, con sus 1.085 municipios, que conforman el territorio colombiano, generan aproximadamente 21.000 t/día de residuos sólidos procedentes de las actividades residenciales, comerciales e institucionales, con un porcentaje de material orgánico del 56,44% (Ideam, 2008). En Colombia, con una población de 42.888.592 habitantes (DANE, 2005), según datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la generación de residuos ordinarios en cabeceras municipales para el año 2000 fue de 7.921.034,78 toneladas, equivalente a una producción per cápita de 0,721 kg/hab/día; mientras que para el año 2004, se generaron 8.558.981,47 toneladas (0,716 kg/hab/día). Los anteriores datos indican que la generación per cápita promedio de residuos sólidos en Colombia se constituye en otra fuente importante de biomasa residual.

Teniendo en cuenta diferentes estudios realizados en el mundo sobre el potencial energético de la biomasa (Cuiping L., et. al., 2004; Flora, J.R.V, Riahi-Nezhad, C. 2006; Ravindranath N.H., et. al., 2006; Hoogwijk, M., et. al., 2003) y el análisis de prospección planteado en la estructura energética del país, se infiere que la biomasa residual puede llegar a ser una fuente alternativa de energía renovable para Colombia, lo cual puede verificarse en el estudio de potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas realizado en Colombia por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2003).

1.1 FUENTES DE GENERACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL

La producción de bienes y servicios para la sociedad requiere de la transformación física y química de la materia e involucra en algunos casos biomasa residual. Existen dos fuentes de biomasa residual para la producción de energía: las actividades agroindustriales y las sociales de la comunidad. En el caso de la cadena agrícola se distinguen los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) y los Residuos Agrícolas Industriales (RAI). Ejemplos de estos tipos de biomasa son los residuos de cuercos y raquis en las plantaciones de palma, los frutos, hojas y tallos de descarte de las cosechas y las excretas de cerdos, aves de corral y reses; en el segundo caso las actividades domésticas y las cadenas comerciales o de industrias de alimentos o de productos vegetales originan los grandes volúmenes de residuos orgánicos urbanos.

Estos residuos pueden utilizarse para la generación de energía a gran escala y la sustitución de combustibles, de acuerdo con la disponibilidad de tecnologías de segunda y tercera generación. Sin embargo, el aprovechamiento de la biomasa residual depende fuertemente de la facilidad de recolección, por lo cual el análisis de su dispersión geográfica es de significativa importancia para valorar su uso.

1.2 BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA

La agricultura es una actividad antropogénica que genera cantidades considerables de biomasa residual. En el caso del presente estudio, el 75% del total de la biomasa producida en el campo corresponde a RAC, y el restante a RAI. Estos resultados se aproximan significativamente con otros estudios. Por ejemplo para Centro América la producción de RAC se reporta en 60%, mientras que los desechos de proceso RAI varían entre el 20% y 40% (*Biomass Users Network Centroamérica* - BUN-CA, 2002).

Un porcentaje de los RAC debe ser dejado en el campo para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos. El excedente recolectado de los residuos se aprovecha para diferentes propósitos. Por ejemplo los residuos de la caña de azúcar se emplean para la generación de vapor, como sustituyente de la leña para la cocción de alimentos, para la producción de compost y como alimento animal.

1.2.1 Residuos forestales. Estos residuos constituyen una importante fuente de biomasa residual. Por cada árbol utilizado para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que en la cadena agrícola, un 40% de la biomasa se deja en el campo en forma de hojas y ramas, y el restante 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín (*Biomass Users Network Centroamérica* - BUN-CA, 2002).

1.2.2 Cultivos energéticos. Corresponden a plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para este fin se seleccionan plantas de crecimiento rápido y poco mantenimiento, las cuales normalmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Algunos cultivos como la palma de aceite, el girasol, la soya, la higuera, la jatropha, el maní y plantas acuáticas, como el jacinto de agua y ciertas algas, se emplean para producir

combustibles líquidos como el biodiesel. Por otra parte la caña de azúcar, el maíz, el sorgo, la remolacha, la yuca y el trigo se utilizan en la producción de bioetanol.

Actualmente en Colombia sobresalen dos ejemplos de cultivos energéticos importantes: la caña de azúcar para la producción de alcohol y la palma de aceite para obtener biodiesel.

En Colombia la producción de alcohol a partir de caña de azúcar alcanzó los 274 millones de litros de alcohol, en el año 2006, dicha producción fue soportada por cinco ingenios azucareros del valle geográfico del río Cauca. Estas plantas tienen una capacidad instalada de 1.050.000 l/día de alcohol y son abastecidas con 3,8 millones de toneladas de caña de azúcar, equivalentes al 16% de la producción del país. Colombia inició la producción industrial de biodiesel a partir de palma de aceite en el año 2008 con un estimado en rendimientos de 4.600 litros de combustible por hectárea sembrada. (Departamento Nacional de Planeación, 2008).

1.3 BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR PECUARIO

El estiércol animal constituye una fuente importante de biomasa residual. Su composición se caracteriza principalmente por:

- Alto contenido de humedad, lo cual dificulta la valorización energética.
- Cantidad de material sólido variable, dependiendo del sistema de producción
- Ser un material fermentable que desprende vapores, gases y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).
- Poseer elevados niveles de concentración de nutrientes inorgánicos como el nitrógeno y el fósforo. Por consiguiente cuando esta biomasa se vierte en el agua disminuye la cantidad de oxígeno disuelto y se incrementa el crecimiento de algas y de macrofitas acuáticas.

1.4 BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR RESIDUOS URBANOS

Los centros urbanos generan los denominados residuos sólidos urbanos que provienen de diferentes actividades y están constituidos por cantidades considerables de residuos como papel, madera, carbón vegetal, alimentos, aguas negras y residuos vegetales provenientes de la poda de zonas verdes, los cuales constituyen su fracción orgánica.

Cuando su fracción orgánica se descompone, estos residuos generan compuestos volátiles como el metano y el dióxido de carbono, que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Por su composición físicoquímica se considera

que los residuos sólidos orgánicos poseen un considerable valor energético.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar aspectos como su composición, recolección, transporte y manejo, ya que es usual que los volúmenes de estos residuos estén dispersos en una gran área de intervención. Estas características determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

Tabla 15. Tipos de biomasa residual

Fuente generadora de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo, sólido, HR ¹ >50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30–45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido muy húmedo
	Cáscara y polvo de granos secos	Polvo, HR <25%
	Estiércol	Sólido muy húmedo
	Tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido moderadamente húmedo
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido muy húmedo
	Aguas de lavado de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos	Sólido muy húmedo
	Basura orgánica	Sólido muy húmedo

1: Humedad Relativa

Fuente: *Biomass Users Network Centroamérica - BUN-CA*. (2002).

Los recursos de biomasa comprenden diversos tipos de residuos, con diferentes características físicas y químicas; las cuales influyen en el proceso de conversión energética que se desee utilizar. En la tabla 15 se presentan las características físicas de la biomasa según su origen. Se observa que los residuos vegetales, debido a sus bajos niveles de humedad, se pueden utilizar en procesos de combustión directa o procesos termoquímicos. Por otra parte, los residuos pecuarios se pueden utilizar en bioprocesos en razón a que producen gas, cuya composición presenta altos contenidos de metano.

2.1 COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa es un material formado principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno; estos compuestos son los que reaccionan exotérmicamente cuando el residuo cede energía. Conocer la composición de un residuo es importante al momento seleccionar una tecnología para su aprovechamiento energético; por consiguiente la caracterización de la biomasa involucra conocer los siguientes parámetros:

- Composición física: Involucra determinar en la sustancia su densidad aparente y real, la humedad y el color.
- El análisis último ó elemental: Reporta el porcentaje en peso de oxígeno (O₂), carbono (C), hidrogeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N).
- El análisis próximo: Contempla evaluar el contenido de carbono fijo, el material volátil y las cenizas.
- El análisis estructural: Hace referencia a cuantificar el contenido de lignina, de celulosa y de hemicelulosa.

2.2 CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

Una de las características más importantes de los combustibles es su contenido energético, el cual puede obtenerse de su transformación y uso. Esta propiedad es fundamental para

determinar el tipo de biomasa que puede utilizarse como combustible.

La oxidación de la materia que contenga carbono e hidrógeno, para generar metano y agua, se denomina proceso de combustión y se lleva a cabo mediante una reacción química de oxidación exotérmica. El Poder Calórico Inferior (PCI) es la variable que permite cuantificar la energía liberada en los procesos de combustión de la materia.

El uso de la biomasa residual como fuente de energía involucra conocer su PCI. En el caso de este estudio (ver Tabla 16) se encontró que la biomasa residual en Colombia posee valores de PCI que oscilan entre 4.384 kcal/kg para tallos de café y 1.800 kcal/kg para raquis de banano. Estos resultados son comparables con los obtenidos en otros estudios. En China (Liao *et. al.* 2004) la biomasa forestal y agrícola (sin incluir residuos de plátano y banano) presenta valores de PCI entre 3.827 – 4.784 kcal/kg. En Argentina (Secretaría de Energía de Argentina, 2004), un estudio para biomasa lignocelulósica reportó que su PCI oscila entre 3000 – 3500 kcal/kg y para los residuos urbanos entre 2000 a 2500 kcal/kg.

3. RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA

Las condiciones para la recolección, el transporte y la transformación tecnológica de la biomasa, son factores determinantes en la evaluación de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética.

Un estudio que busque evaluar la utilización de la biomasa como fuente alterna de energía con respecto a un proceso convencional, debe involucrar un análisis de las variables localización del residuo con respecto a la planta de procesamiento y al lugar de utilización de la energía convertida. Estos aspectos deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del proceso por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

Tabla 16. Poder calórico inferior para biomasa residual en Colombia

Sector	Fuente de biomasa	Tipo residuo	PCI [Kcal/kg]
Agrícola	Palma de aceite	Cuesco	3.988
		Fibra	4.274
		Raquis	4.021
	Caña de azúcar	Rac	3.684
		Bagazo	4.456
	Caña para panela	Bagazo	4.456
		Hojas secas	4.007
		Rac	3.684
	Café	Pulpa	4.259
		Cisco	4.430
		Tallos	4.384
	Maíz	Rastrojo	3.429
		Tusa	3.390
		Capacho	3.815
		Hojas secas	4.274
	Arroz	tamo	3.113
		Cascarilla	3.603
	Banano	Raquis	1.809
		Vástago	2.032
		Rechazo	2.488
Plátano	Raquis	1.808	
	Vástagos	2.032	
Pecuario	Avícola	Ponedoras	2.248
		Engorde	3.645
	Bovino	Leche	2.801
		Doble propósito	3.680
		Carne	3.783
	Porcino	Tecnificado	6.049
No tecnificado		4.163	
RSOU	Plaza mercado	Sólido orgánico	3.772
	Centro acopio	Sólido orgánico	3.772
	Poda	Sólido orgánico	3.772

1: Humedad Relativa

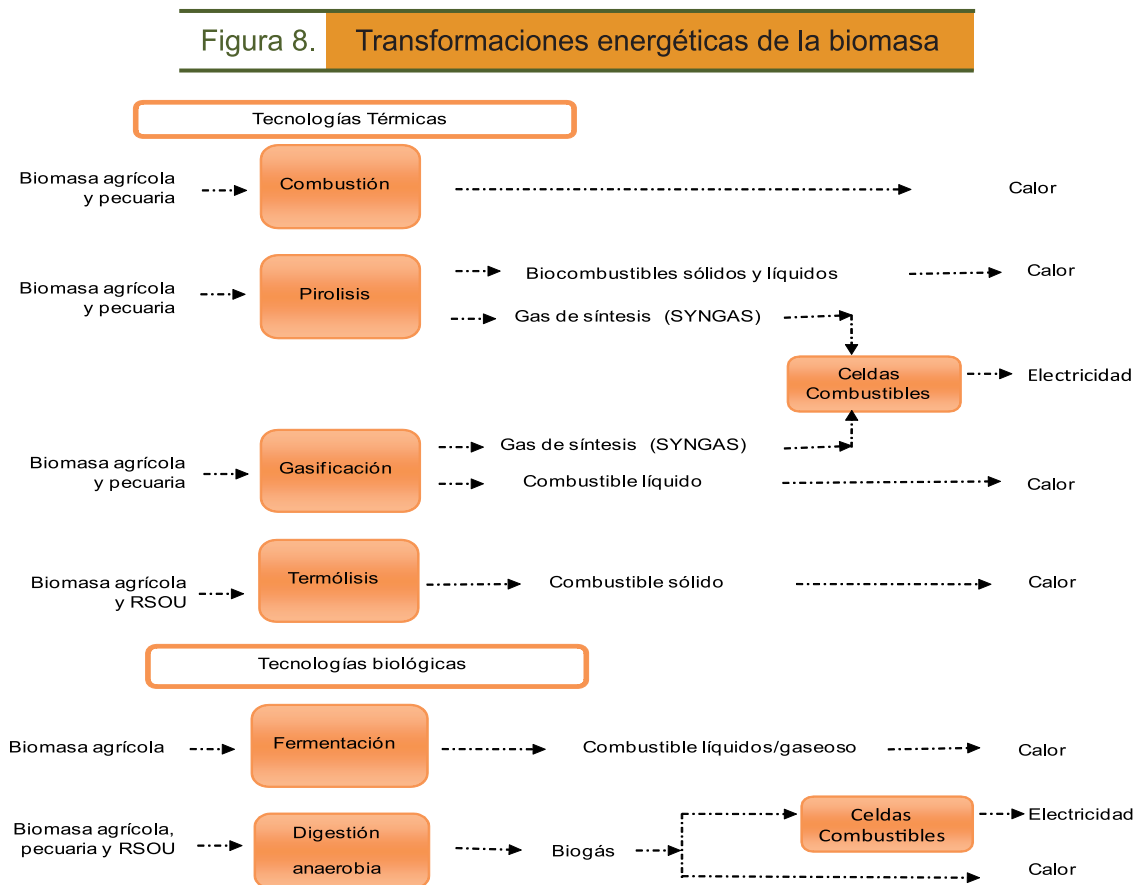
Fuente: Biomass Users Network Centroamérica - BUN-CA. (2002).

4. PROCESOS APLICADOS PARA LA CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA

La biomasa es la única fuente de energía renovable que puede ser transformada en combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, mediante procesos de conversión térmicos y biológicos (ver Figura 8). La transformación energética de la biomasa genera principalmente biocombustibles y biogás, a partir de los cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz (McKendry; Part 2, 2001). Tanto la selección del tipo de aprovechamiento energético como las dificultades que se puedan presentar en

cualquier tratamiento posterior, dependen de las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y energéticas del residuo.

El aprovechamiento de la biomasa seca (contenido de humedad menor al 50%) por medio de procesos termoquímicos depende de factores como el contenido de humedad, el valor calorífico, la concentración de carbono fijo y de los volátiles, el contenido de cenizas y de los metales alcalinos presentes. Por otra parte, para el aprovechamiento de la biomasa húmeda (mayor al 50%) por medio de la bioconversión, son de interés el contenido de humedad y la relación celulosa y lignina. (McKendry; 2002, Part 1).



En comparación con los combustibles fósiles, la biomasa posee un contenido energético menor. La razón es que la biomasa tiene una mayor relación de oxígeno e hidrógeno con respecto al carbono y justamente la mayor cantidad de energía se almacena en las cadenas carbono-carbono.

4.1 PROCESOS TERMOQUÍMICOS

En condiciones controladas de temperatura y presión la estructura de la materia se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos más adecuados a la aplicación que se desee. Este proceso, debido al alto nivel tecnológico alcanzado, está substituyendo a la combustión directa.

Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples como estufas, hornos y calderas, hasta equipos sofisticados para combustión de lecho fluidizado. La eficiencia de estos procesos oscila alrededor del 60%. El rendimiento del proceso se puede mejorar mediante sencillas prácticas de operación como el secado, la reducción de tamaño del residuo que se utiliza como combustible y la utilización de material aislante para evitar que la unidad de operación pierda energía en forma de calor.

Los gasificadores de biomasa operan calentando el residuo en un ambiente en el cual los sólidos se desdoblán hasta formar un gas inflamable. Esta opción ofrece ventajas evidentes sobre la combustión directa. El biogás puede ser limpiado y filtrado para remover componentes químicos indeseados y además se pueden utilizar sistemas más eficientes (de tipo combinado) hasta alcanzar eficiencias del 60%. Por otra parte, los sistemas de gasificación pueden ser acoplados con celdas de combustible para la producción simultánea de calor y electricidad; sin embargo esta opción aún no se considera una posibilidad dados los altos costos de la celda y del gasificador.

4.2 PROCESOS BIOQUÍMICOS.

En los bioprocesos se utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Estos procesos son los más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termoquímicos. Se destaca el hecho que estos procesos se llevan a cabo a temperatura ambiente o cercana a ella. Dentro de los procesos bioquímicos se destacan las transformaciones anaeróbicas y las fermentaciones alcohólicas.

La digestión anaerobia de la materia orgánica genera dos corrientes:

- Un gas combustible con una concentración de metano superior al 60% y poder calorífico inferior al orden de 5500 kcal/m³, que se designa usualmente como biogás.

- Un sólido conformado por residuos, cuya composición se asimila a un abono orgánico tipo compost.

Los sistemas modernos de biogásificación utilizan fermentaciones de alta velocidad a elevada concentración de sólidos para disminuir los costos de capital (Rivard, 1995). A escala piloto se han desarrollado reactores para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales en metano y dióxido de carbono. En un relleno sanitario el proceso se lleva a cabo en años, en estas nuevas unidades el tiempo de operación oscila entre 21 y 42 días. Para la degradación de la materia orgánica, estos reactores emplean los lixiviados como inóculo y fuente de nutrientes (Chynoweth, D. P. *et. al.*, 1991).

Así mismo, para el tratamiento de residuos orgánicos, ha surgido una reciente opción tecnológica mediante el uso de reactores anaerobios de biopelícula inmovilizada. Estos equipos ofrecen la ventaja de ser operados bajo condiciones anaerobias de fluidización, como se opera para la biometanización de vinazas (Fernández, N. *et. al.*, 2001).

5. ANTECEDENTES RELATIVOS AL ESTUDIO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

En la búsqueda de energías alternativas amigables con el medio ambiente, la biomasa se constituye como una de las principales fuentes de energía renovable. Para estimar la energía contenida en la biomasa, es necesario evaluar su potencial energético, el cual se define como la energía química de la biomasa que puede ser transformada para su aprovechamiento energético (Perera, 2005). Se mide en unidades de energía por unidad de tiempo y se obtiene del producto entre la masa de residuo y su contenido energético.

El cálculo del potencial energético de la biomasa residual ha sido ampliamente estudiado a nivel internacional. Por ejemplo, Voivantas *et al.* (2001), evaluaron el potencial energético de los residuos

vegetales para la isla de Creta y Hoogwijk *et al.* (2003), realizaron estimativos del potencial energético global tanto para residuos vegetales como residuos animales.

En países como China, India, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia se han realizado estudios para evaluar el potencial energético de la biomasa residual agrícola del estiércol animal y de los residuos sólidos urbanos (Bhattacharya *et al.*, 2005; Abdul Salam P. 2005; Sajjakulnukit *et al.*, 2005). En estos países, los resultados de sus investigaciones han permitido realizar proyecciones sobre la disponibilidad de potencial energético hasta el 2010.

En España se han realizado representaciones cartográficas del potencial energético de los residuos agroforestales de la región de Navarra con el fin de identificar zonas posibles para la ubicación de plantas de aprovechamiento de biomasa (Domínguez *et al.*, 2003). En Estados Unidos se elaboró el atlas de los recursos energéticos renovables, contabilizando el potencial energético de la biomasa residual, tomando como muestra representativa rellenos sanitarios, estiércol animal, residuos forestales y de cosecha de cultivos como el maíz, el trigo y la cebada (Hewlett Foundation and The Energy Foundation, 2002).

En Suramérica, Brasil se ha interesado en la evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas; como ejemplo se puede citar el estudio hecho para el estado de Paraná, en el cual se buscaron fuentes alternativas de energía para suplir las necesidades energéticas que tiene esta región (Sordi A. *et al.*, 2002).

La Unidad de Planeación Minero Energética realizó el estudio "Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia", en el cual se reportan 29 millones de t/año de biomasa residual agrícola, procedentes de bagazo de caña de azúcar y panelera, de cascarilla de arroz, de fibra del cocotero, de pulpa de café,

de palma de aceite, de frijol, de caña de azúcar y de cebada; los cálculos indican que esta biomasa puede tener una capacidad energética aproximada de 12.000 MWh/año.

Los anteriores estudios han mostrado que conocer el potencial energético de la biomasa residual es importante al momento de plantear proyectos para su aprovechamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Biomass Users Network Centroamérica - BUN-CA. (2002). *Biomasa, Manuales Sobre Energía Renovables para América Central*. San José C.R.; 1 ed. ISBN: 9968-904-02-3, pp. 5

Bhattacharya S.C., Abdul Salam P., Runqing H., Somashekar H.I., Racelis D.A. Rathnasiri P.G., Yingyuad R. (2005). *An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in Selected Asian Countries for 2010*. Biomass & Energy 29, pp. 153-163.

Castells X.E., Cadavid C., Campos P.E., Flotats R.X., García M.J., Gaya F.J., Jurado G.L., Ruíz A. F., Cremades O. L., Velo G.E. (2005). *Tratamiento y Valorización energética de residuos*, Ediciones Díaz de Santos, ISBN:84-7978-694-9, España, p. 64.

Cuiping L., Chuangzhi W., Yanyongjie, Haitao H. (2004). *Chemical Elemental Characteristics of Biomass Fuels in China*. Biomass & Energy 27, pp. 119-130.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances* 25, pp. 294 – 306.

Chynoweth D.P., Bosch G., Earle J.F. A (1991). *Novel Process for Anaerobic Composting of Municipal Solid Waste*. Applied Biochemistry and Biotechnology 28, pp. 421 – 432.

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE. (2005). *Censo General*. Disponible en <http://www.dane.gov.co/censo/>

Departamento Nacional de Planeación, Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3510 (2008). *Lineamientos de política para promover la producción Sostenible de biocombustibles en Colombia*. Bogotá. 44p.

Domínguez B. J., Ciria, P., Esteban, L.S., Sánchez, D. Lasry, P. (2003). *Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España)*. GeoFocus ISSN: 1578-5157, No.3, pp. 1-10.

Donghui, S., Jingjuan, F., Dingji, S.(2008). *Exploitation of Oil-bearing Microalgae for Biodiesel*. Chinese Journal of Biotechnology, 24, pp. 341 – 348.

Fernández N., Fernández P. F., Montalvo S.J., Toledano D., (2001). *Use of Activated Carbon and Natural Zeolite as Support Materials, in an Anaerobic Fluidised Bed Reactor, for Vinasse Treatment*. Water Science and Technologic 44 No. 4 pp. 1– 6.

Flora J.R.V, Riahi-nezhad C. (2006). *Availability of Poultry Manure as a Potential Bio-fuel Feedstock for Energy Production*. Final Report, The SC Energy Office 1201 Main Street, Suite 430 Columbia, SC 29201.

Hewlett Foundation and The Energy Foundation, (2002). *Renewable Energy Atlas of the West, One guide to the region´s resource potential*. ISBN 0-9721568-0, USA, pp. 36.

Hoogwijk M., Faaij A, Broek R., Berdens G., Gielen D., Turkenburg W. (2003). *Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy*. Biomass and Bioenergy 25, pp. 119-133.

Horta N.L., Silva L.E., (2003). *Dendroenergía: Fundamentos e Aplicacoes*. 2ª Edición, Editora Interciencia, Rio de Janeiro, pp. 21-35.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam, (2008). *Segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - Años 2000 y 2004*,

Módulo de Residuos. www.cambioclimatico.gov.co/documentos/residuos.pdf.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam (1998). *El Medio Ambiente en Colombia*, 1ª edición, ISBN 958-95850-94, Santafé de Bogotá, pp 22.

LIAO C., Wu Ch., Yanyongjie, Huang H., (2004). *Chemical Elemental Characteristics of Biomass Fuels in China*. Biomass and Bioenergy, 27, pp.119-130.

Mckendry P. (2002). *Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of biomass*. Bioresource Technology 83, pp. 37-46.

_____ (2002). *Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies*. Bioresource Technology 83, pp. 47-54.

Miltner M., Makaruk A., Harasek M., Friedl A. (2006). *CFD – Modelling for the Combustion of Solid Baled Biomass*. Fifth International Conference on CFD in the Process Industries. CSIRO, Melbourne – Australia. 13 – 15 December, pp. 1- 6.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombia Internacional – CCI (2006). *Oferta Agropecuaria ENA 2006*.

http://www.cci.org.co/cci/cci_x/scripts/home.php?men=8&con=60&idHm=2&opc=99

Organización Latinoamericana de Energía – OLADE (2006). *Informe de Estadísticas Energéticas*. <http://www.olade.org>

Perera K.C.K, Rathnasiri P.G., Senarath S.A.S, Sugathapala A.G.T, Bhattacharya S.C, Abdul Salam P., (2005). *Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka*. Biomass and Bioenergy 29, pp. 199–213.

Ravindranath N.H, Somashekar H.I, Nagaraja M.S, Sudha P., Sangeetha G., Bhattacharya S.C., Abdul Salam P., (2005). *Assessment of sustainable non-plantation biomass resources potential for energy in India*. Biomass and Bioenergy 29, pp. 178 – 190.

Rivard C.J., (1995). *Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste: Technical Developments*. Proceedings Second Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry. Portland, Oregon USA, pp 28 - 35.

Sajjakulnukit B., Yingyuad R., Maneekhao V., Pongnarintasut V., Bhattacharya S.C., Abdul Salam P. (2005). *Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Thailand*. Biomass and Bioenergy 29, pp. 214–224.

Secretaría de Energía de República de Argentina (2004). *Energías Renovables – Energía Biomasa*. <http://www.energia.gov.ar>

Skoulou V. and Zabaniotou A. (2007). *Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, pp.1698–1719.

Sordi A., Souza S. N. M., Oliva C. A. (2002). *Potencial de Energia Primaria de Resíduos Vegetais no Paraná*. 4 ° Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, Agrener, pp. 1 – 20.

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2003). *Potencialidades de cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia*, resumen ejecutivo documento n°: anc-631 – 03. <http://www.upme.gov.co>

Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Koukios, E. (2001). *Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method*. Biomass and Bioenergy, 20, pp. 101-112.