Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta

Using agricultural waste for the production of biofuels (departamento del Meta – Colombia)

Danny Williams Núñez Camargo
Ingeniero agrónomo, magister en Gestión Ambiental. Jefe del Centro de Investigaciones Ambientales José Antonio Candamo. Villavicencio, Colombia.
Contacto: *ciam@unimeta.edu.co*

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2011 **Clasificación del artículo: Revisión**
Fecha de aceptación: 28 de agosto de 2012 **Financiamiento: Corporación Universitaria del Meta**

***Palabras clave**:* agricultura, bioenergía, biomasa, combustible, cultivos.

Key words: agriculture, biofuels, biomass, fuel, crops.

RESUMEN

El departamento del Meta tiene una tradición agrícola sobresaliente en diferentes productos como: la palma africana, arroz, frutales, plátano, y otros; los cuales, dentro de los diferentes procesos agrícolas o de transformación, producen residuos heterogéneos, especialmente biomasa, que representa un problema desde el punto de vista ambiental debido a la falta de técnicas para su aprovechamiento y re-uso. Estos subproductos de la producción agrícola y agro industrial pueden generar beneficios para los productores; logrando el uso en la obtención de compostaje y devueltos al cultivo; o con una gran posibilidad de re-usarse en la producción de energía para diferentes procesos, dentro de una producción agrícola o para generar energía para la agroindustria, supliendo el uso de energía proveniente del carbón, diesel y gasolina, entre otros. El objetivo de este artículo es describir, analizar y generar posibilidades de convertir estos residuos o subproductos en fuente de energía para la región, para municipios alejados del sistema interconectado nacional, además de la posibilidad de obtener biocombustibles como: etanol, biogás y biodiesel para suplir las demandas energéticas. Promocionando la seguridad energética, uso ra-

cional y eficiente de los recursos y la integración regional. Siempre relacionado con la reducción de emisiones de gases, efecto invernadero, minimización de la disposición de los contaminantes en el suelo, agua y aire; para lograr, en un mundo globalizado, la mayor competitividad usando adecuadamente la biomasa producida en diferentes procesos.

ABSTRACT

A Colombian region called "departamento del Meta" has an outstanding agricultural tradition regarding products such as oil palm, rice, fruit, banana, and others. In the multiple production processes associated to agricultural activities, heterogeneous waste is generated. Biomass, in particular, represents a problem from an environmental point of view due to the lack of techniques for harvesting and reuse. These byproducts from agricultural and agro-industrial production can bring benefits for producers; they can be used in the production of compost and can be returned to the crop fields. Another possibility of reuse is the production of energy for various processes within a productive agriculture or the generation of power for agri-business, supplying energy generation from coal, diesel and gasoline among others.

The aim of this paper is to describe, analyze and offer possibilities of converting this waste, or by-products, into a source of energy for the region, also for municipalities away from the national grid. Moreover, other possibilities to produce biofuels such as ethanol, biogas and biodiesel are proposed to meet energy demands, promoting energy security, rational and efficient use of resources and regional integration. A permanent idea in this article is to reduce greenhouse gas emissions, minimizing the disposal of contaminants in soil, water and air so as to create a more a competitive globalized world that properly uses the biomass produced in different processes.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

El consumo energético se ha incrementado en los últimos años debido al aumento de procesos industriales y de consumo en los hogares; generándose un interés en reducir la dependencia del petróleo por los países que son importadores de combustibles fósiles y lograr que los estados, empresas y la academia, promuevan el uso de diferentes fuentes energéticas alternativas y renovables [1] - [3].

El uso de la biomasa como potencial para la producción de energía es un aspecto que es necesario profundizar debido a las diferentes fuentes energéticas, la composición de estas fuentes y el potencial energético [1], [4], [5]. En este trabajo se recopiló la información relacionada con los sistemas de producción agrícola del departamento del Meta, tomando como fuente la información suministrada por la Secretaria de Agricultura del Meta y la información de la Encuesta Nacional Agropecuaria para el año 2006. Con esta indagación, se estimó la composición físico-química, el contenido energético de la biomasa residual, usando como base el documento Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia [6].

No todos los municipios del departamento tienen una actividad agrícola bien tecnificada, por esta razón, la oferta residual de biomasa por hectárea tiende a ser alta, encontrándose un alto potencial para el aprovechamiento energético.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El motor de los sistemas ecológicos es la luz solar, la cual nunca se destruye sólo se transforma (Ley de la termodinámica); parte de la energía solar de los ecosistemas es absorvida y reflejada por las capas atmosféricas. La energía solar es absorvida por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis e influye en la cadena trófica que es almacenada en la biomasa residual [7].

Las energías se pueden clasificar en dos: renovables o no renovables; las renovables son la solar, la eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica, estas se consideran inagotables. Las fuentes no renovables se caracterizan por su agotabilidad y disminuyen con su consumo, como: el carbón, petróleo, gas natural, entre otros [6], [8].

La biomasa es la materia viva presente en la superficie terrestre, llamada biosfera. Los residuos que se generan a partir de procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también constituyen biomasa. Ésta es renovable debido a que forma parte del flujo natural y repetitivo de procesos en la naturaleza, siendo las plantas quienes inician los procesos con la fotosíntesis para captar la energía solar. La biomasa es indispensable para conservar y enriquecer la diversidad biológica y el suelo [6], [9].

La biomasa residual hace referencia a los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que llevan a cabo la materia orgánica [10]. Por ejemplo, los residuos de cosecha, las podas verdes de los cultivos, los efluentes ganaderos y los residuos orgánicos de las plazas de mercado [6].

La composición de la biomasa es, en un gran porcentaje, grandes cantidades de carbono, oxigeno e hidrogeno. Cadenas largas de C_nH_m; constituyen reacciones exotérmicas generadoras de energía, por lo tanto, ésta representa una gran cantidad de energía almacenada en los componentes orgánicos de origen vegetal y animal [6], [11].

La valoración energética está dada por la cantidad de energía que contiene y que puede llegar a liberar cuando se somete a un proceso de conversión energética. Buena parte de la población rural en los países en desarrollo, representan el 50% de la población mundial, dependen de la biomasa como fuente energética, por medio del uso de leña. La biomasa suple en un 35% en consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza el 14% del total de la energía consumida por en el mundo [6].

Para el año 2005, Colombia 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. Dentro de estos procesos productivos, se generan diferentes tipos de biomasa residual agrícola que se clasifica, según su origen, en: residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales [12].

2.1 Análisis para determinar el potencial energético de la biomasa

Los análisis fisicoquímicos son los más importantes para determinar el potencial de la biomasa, estos análisis se expresan en base seca, por esta razón, lo primero que se debe realizar es la determinación del contenido de humedad. Con el análisis elemental se determina el contenido de compuestos simples que se pueden gasificar y aportar energía en las reacciones de combustión. El análisis incluye la determinación del porcentaje de azufre, carbono, hidrogeno y nitrógeno. El análisis siguiente es la determinación del contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo; además de incluir el análisis del contenido de proteínas, grasas y aceites, la densidad aparente y el análisis

estructural, para determinar los contenidos de celulosa, lignina y hemicelulosa [6].

Los combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requieren equipos de menor tamaño. Los materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte e implican procesos de combustión y eleva los costos del proceso [3], [13].

Los procesos de conversión energética son afectados por el contenido de humedad; la biomasa, con un contenido de humedad inferior al 50%, pueden ser aprovechada por un proceso de combustión directa, pirolisis o gasificación. Si los residuos salen con alto contenido de humedad antes del proceso de conversión energética es necesario la implementación de operaciones de secado, lo cual incrementa los costos para su aprovechamiento. Para residuos con más del 50%, el proceso a usar es el de fermentación o digestión anaerobia [6], [14].

El contenido de azufre puede formar escorias y formar óxidos muy contaminantes; el nitrógeno no aporta energía pero puede generar gases tipo NOx si la cantidad es importante y la temperatura del proceso es alta. El contenido de O_2 presente en la biomasa puede reducir las necesidades de combustión; el carbono de la biomasa procede de la materia orgánica, como de los carbonatos presentes. Las relaciones H/C y O/C, determinan las eficiencias en la conversión de energética [6], [15].

La relación carbono/nitrógeno, expresa las unidades de carbono por unidades nitrógeno que contiene un material. El carbono es la fuente energética para los microorganismos y el nitrógeno es un material esencial para la síntesis proteínica. Esta relación expresa la digestibilidad de un determinado material orgánico; un material con una relación adecuada de C/N es adecuada para la producción de biogás mediante un proceso de fermentación [6].

Las cenizas corresponden a la cantidad de materia solida no combustible presente en un material y se expresan en cenizas por kilogramo de muestra. El poder calórico de un material se obtiene de acuerdo al contenido de cenizas. Si se tiene un alto contenido de cenizas en un residuo biológico, se reduce el poder calorífico, estas se pueden depositar en las calderas e intercambiadores, dificultando la transmisión de calor. La eliminación de cenizas implica el uso de tecnologías complejas y costosas [6].

El material volátil está constituido por las combinaciones de carbono, hidrogeno y demás elementos, éste se determina calentando la muestra en un crisol tapado durante 7 minutos a 950 °C, a esta temperatura se realiza la descomposición de la materia orgánica por ruptura de enlaces químicos (pirolisis). La pérdida en peso que sufre la muestra, después de descontar la humedad, indica la cantidad de compuestos gaseosos producidos por la descomposición de sustancias carbonosas [6]. Este carbono representa el compuesto que no se destila cuando se calienta el combustible.

Las proteínas son compuestos de: carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno, y constituyen un componente esencial del protoplasma celular y de la dieta animal. La formación de proteínas supone una unión grande de aminoácidos, los cuales son sintetizados por las plantas y bacterias, todas contienen un grupo amino [6]. Los aceites y grasa de origen animal y vegetal son los triglicéridos, o esteres de la glicerina, y están constituidos por ácidos grasos de cadena larga de hidrocarburos [6].

La celulosa es un polisacárido de peso molecular elevado, insoluble en agua, consta de una organización cristalina que confiere protección a la célula y constituye un impedimento al ataque de los reactivos [6]. La lignina es un polímero ramifica-

do, amorfo y heterogéneo. En los vegetales ayuda a permanecer unidos la celulosa y las hemicelulosas entre sí, proporcionando rigidez a la pared celular y evita la acción de microrganismos [6]. La hemicelulosa está compuesta por carbohidratos que forman una estructura polimérica compleja ramificada y compuesta por la unión de unidades de pentosa, hexosas y ácidos de estos azucares. De esta manera, brinda la rigidez a la estructura vegetal [6], [16].

La cantidad de celulosa y lignina determinará el proceso de aprovechamiento energético, la biodegradabilidad de celulosa es mayor que la lignina, por lo tanto, residuos que contienen carbón con altos contenidos de celulosa se les puede realizar de forma más fácil la conversión que los residuos con altos contenidos de lignina [6], [16].

2.2 Contenido energético

Este corresponde a la cantidad de energía disponible en el material, los combustibles son compuestos que poseen carbono, el cual reacciona con el oxígeno, en procesos térmicos o celdas de combustibles, liberando energía en forma de calor. La calidad de los combustibles dependen de la cantidad de energía que contiene y que puede liberar en proceso de conversión energética; esta cantidad de calor referida a la unidad de masa es el poder o potencia calorífica [3]. El contenido energético de un compuesto se representa en unidades de energía por unidad de masa. Por ejemplo, el poder calorífico se expresa en Joule por kilogramo o calorías por gramo (Cal/g). Existen diferentes formas de expresar el contenido energético de los biocombustibles como [6]:

Energía primaria: indica la cantidad de energía contenida en un material en su forma natural.

Energía entregada: es la cantidad de energía liberada por un combustible para su consumo. La energía entregada puede corresponder a una fracción o a la totalidad de la energía primaria del combustible.

Energía útil: es la cantidad de energía empleada en los usos finales descontando las pérdidas. La energía útil es representada por la cantidad de trabajo o calor que realmente es útil en una determinada actividad.

En los combustibles, el contenido energético depende del poder calorífico: la energía liberada en forma de calor durante la reacción de oxidación para formas dióxido de carbono y agua. Para cuantificar la energía contenida en una sustancia se emplean las unidades absolutas y estas se usan para definir la cantidad total de energía presente en una materia, sin hacer referencia a su masa, y se expresan en: Mega Joule (MJ) y Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP). Las unidades relativas indican la cantidad de energía producida o consumida en un periodo de tiempo o por unidad de masa; estas medidas se emplean en la medición de la energía primaria, disponible y útil, y se expresa en Mega Joule por kilogramo (MJ/Kg) o Tera Joule por año (TJ/año) [6].

El contenido energético de un compuesto orgánico es proporcional a las cadenas C-C en su estructura; el contenido energético de la biomasa es menor que el de los combustibles fósiles, debido al contenido en su estructura de las cadenas C-O y C-H. El uso de la biomasa, con elevado porcentaje de humedad, reduce la eficiencia de la combustión, debido a que el calor liberado es para evaporar el agua y no para la reducción química del material [6].

2.3 Antecedentes al estudio de la biomasa como fuente de energía

La biomasa es una fuente de energía alternativa amigable con el medio ambiente y constituye una

fuente de energía renovable; para evaluar la energía contenida en la biomasa es necesario evaluar el potencial energético. Éste está entendido como la energía química de la biomasa que puede ser transformada para el aprovechamiento energético [6].

A nivel internacional se evaluaron el potencial de los residuos vegetales en las islas de Creta y Hoogwijk, realizando los estimativos del potencial energético global tanto para residuos vegetales como residuos animales [17]. Algunos países, como China, India, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia, han realizado estudios para el potencial energético de la biomasa residual agrícola del estiércol animal y los residuos urbanos; estos resultados han permitido realizar las proyecciones sobre la disponibilidad de potencial energético [18].

En España se han realizado representaciones cartográficas del potencial energético de los residuos forestales de la región de Navarra, con el fin de identificar las zonas para la ubicación de plantas de aprovechamiento de biomasa [19], [20]. En Estados Unidos se elaboró el atlas de los recursos energéticos renovables, tomando como punto de referencia los rellenos sanitarios, estiércoles de animales, residuos forestales y cosecha de cultivos como el maíz, el trigo y la cebada. En Suramérica, Brasil es el más interesado en la evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas, por ejemplo, para el estado de Paraná, se buscaron fuentes alternativas para suplir las necesidades energéticas que tiene la región [21], [22].

La Unidad de Planeación Minero Energética realizó el estudio de las 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 del bagazo de caña de azúcar y panela, cascarilla de arroz, fibra de cocotero, pulpa de café, palma de aceite, frijol, caña de azúcar y cebada, los cálculos indican que esta capacidad energética de 12.000 MWh/año.

3. METODOLOGÍA

Para este trabajo se realizó una identificación de los sistemas de producción agrícola del departamento del Meta, usando la información disponible hasta el año 2006 de los volúmenes de producción y las hectáreas sembradas, con el objetivo de determinar cuáles son los sistemas donde se producirán mayor cantidad de residuos.

Luego, se revisará la información disponible sobre la cantidad de residuos que se producen en estos sistemas de producción usando el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia y la información disponible en los gremios productores.

Se determinarán los volúmenes aproximados de producción de residuos por el departamento; con esta información y el tipo de residuos se determinar los posibles métodos con los cuales se puede generar energía por medio de la producción de etanol, biodiesel, biogás, entre otros.

Finalmente, se hacen algunas recomendaciones o propuestas sobre la implementación de métodos para el aprovechamiento de los residuos de los sistemas de producción agrícola y pecuaria en el departamento del Meta.

4. RESULTADOS

Las principales fuentes de producción de biomasa residual en el sector agrícola, hacen relación a residuos agrícolas de cosecha y residuos industriales; en el sector pecuario se tomaron como fuentes el estiércol bovino, porcino y avícola.

Para el sector agrícola la biomasa está representada por los subproductos que se generan en los procesos de recolección, transformación de las cosechas, además de los relacionados con labores culturales dentro de los cultivos, como las dife-

rentes podas y manejo mecánico de malezas dentro del área de cultivo.

4.1 Sector agrícola

En el departamento del Meta, la superficie de uso del suelo en sistemas de producción agrícola es de 313.105 Ha, para el sector pecuario es de 4´748.549 Ha, para bosques es de 221.183 Ha y otros usos 58.623 Ha, para un total de 5´341.459 Ha; el total de unidades productoras es de 24.543 para el año 2009. La distribución para el departamento en hectáreas en cultivos transitorios y barbecho es de 24.496, cultivos permanentes 83.382 Ha y en descanso 1.889 Ha. En el sector pecuario, los pastos corresponden a 4´263.039 Ha y malezas y rastrojos a 512.510 Ha [6].

Se tomaron como referencia los siete productos siguientes: arroz, maíz, banano, café, caña de azúcar, palma de aceite y plátano; de los anteriores productos se determinó el número de hectáreas cosechadas para el año 2006, hectáreas sembradas, oferta del residuo y potencial energético [6].

Para el caso del arroz, el departamento del Meta reporta 65.456 hectáreas sembradas, la producción toneladas/año corresponde a 353.516 toneladas/año, la cantidad de residuos producido es de 901.466 toneladas/año y el potencial energético es de 3.994, 19 TJ/año [6]. Para el caso del banano el departamento del Meta tiene 11 Ha/ año sembradas, con una producción de 22 toneladas/año, con la producción de residuos de 135 toneladas/ año y un potencial energético de 0,008 TJ/año [6].

Para el caso del café, el departamento cuenta con 3.683 ha sembradas, una producción de 2.383 Ton/ año, con una producción de residuos de 12.776 Ton/año y un potencial energético de 124,20 TJ/año [3]. Para la caña panelera, el departamento del Meta cuenta con 1.031 ha sembradas, con unas producción de 7.132 Ton/ año, una producción de residuos de 44.789 Ton/año y un potencial energético de 381,6 TJ/año [6].

En el maíz, las hectáreas sembradas en el departamento del Meta corresponden a 22.565, tienen una producción de 78.073 Ton/año y producen residuos que corresponden a 110.473 Ton/año y generan un poder energético de 1.186,37 TJ/año [6]. La palma de aceite tiene sembrados en el departamento del Meta 80.097 hectáreas, de las cuales se producen 210.993 ton/Ha y los residuos corresponden a 418.757 ton/Ha y tienen un poder energético de 4.039,48 TJ/año [6]. Para el caso del plátano, en el Meta se cultivan 16.302 Ha, las cuales generan 244.749 Ton/año, generando 1.505.206 Ton/año generando 859,2 TJ/año [6].

En la tabla 1 se expresan los consolidados del potencial energético de la biomasa residual agrícola por especie. El factor de residuos está definido como una fracción de la biomasa que es generada por unidad de producto principal [6].

Al consolidar la información por cada producto, el departamento del Meta arroja los siguientes datos, las hectáreas sembradas totales equivalen a 189.145 para el año 2006, con una producción de 2.993.602 Ton/ año, generando residuos de 10.585, 44 Ton/año y un potencial energético de 859, 52 TJ/año [6].

4.2 Procesos para conversión energética de la biomasa

La biomasa puede ser convertida, de diferentes formas, en combustibles gaseosos, líquidos y sólidos mediante conversión térmica o biológica; esta transformación puede ser en biocombustibles o biogás, de las cuales se pueden obtener calor, electricidad o fuerza motriz.

El aprovechamiento de estos recursos depende de las propiedades físicas, químicas, fisicoquí-

Tabla 1. Potencial energético de la biomasa del sector agrícola en Colombia.

Cultivo	Producción (T/año)1	Tipo de Residuo	Origen del residuo	Factor de Residuos 2	Masa de residuo (t/Año)	Potencial energético (TJ/ año)
Palma de aceite	872.117	Cuesco	RAI	0,22	189.074	2.627,44
		Fibra		0,63	546.381	6.778, 89
		Raquis de Palma		1,6	924.618	6.607, 31
Caña de azúcar	2.615.251	Hojas de Cogollo	RAC	3,26	8.525.718	41.707,22
		Bagazo		2,68	7.008.873	76.871,65
Caña Panelera	1.514.878	Bagazo	RAC	2,53	5.680.790	62.305,56
		Hojas-cogollo	RAI	3,75	3.832.640	18.749,01
Café	942.327	Pulpa	RAI	2,13	2.008.192	7.206,79
		Cisco	RAI	0,21	193.460	3.338,57
		Tallos	RAC	3,02	2.849.596	38.561,52
Maíz	1.368.996	Rastrojo	RAC	0,93	1.728.642	12.573,18
		Tusa		0,27	369.629	3.845,88
		Capacho		0,21	288.858	4.383,73
Arroz	2.463.689	Tamo	RAC	2,53	5.789.669	20.699,41
		Cascarilla	RAI	0,2	492.738	7.136,53
Banano	1.878.194	Raquis de plátano	RAC	1	1.878.194	806,31
		Vástago de plátano	RAC	5	9.390.968	5.294,27
		Plátano de rechazo	RAI	0,15	281.729	495,34
Plátano	3.319.357	Raquis de plátano	RAC	1	3.319.357	1.425,00
		Vástago de plátano	RAC	5	16.596.783	9.356,64
		Plátano de rechazo	RAI	0,15	497.903	875,43
Total	14.974.807				71.943.8134	331.645,71

Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, 2011

micas, bioquímicas y energéticas del residuo. El aprovechamiento de la materia seca se hace por medio de medios termoquímicos, depende del contenido de humedad, el potencial calorífico, contenido de carbono fijo y volátil, contenido de cenizas y metales alcalinos presentes [10]. El aprovechamiento de biomasa húmeda se hace por medio de la bioconversión; es de interés el contenido de humedad y la relación celulosa lignina. En términos generales, la biomasa tiene menor contenido energético que los combustibles fósiles; la razón es que la biomasa tiene más contenido de oxigeno e hidrogeno que de carbono, y la mayor cantidad de energía es almacenada en las cadenas de carbono. En la figura 1 se observan las transformaciones energéticas de la biomasa [6].

4.3 Procesos termoquímicos

Cuando se mantienen constantes la temperatura y la presión, la materia se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos. El uso de la combustión directa va de sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, a equipos más sofisticados, la eficiencia de los proceso es cercana al 60% [6]. La gasificación de la biomasa se realiza calentan-

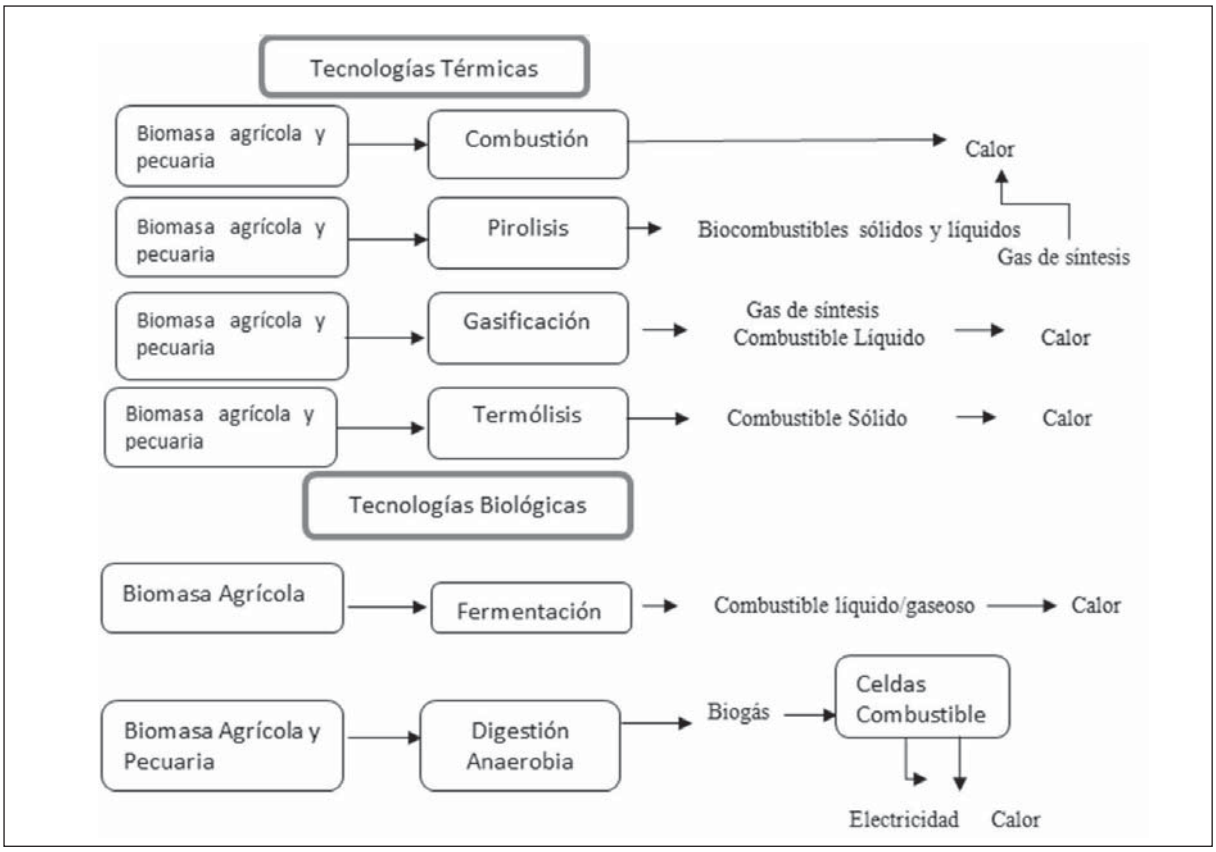

Figura 1. Transformaciones energéticas de la biomasa.
Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, 2011

do el residuo a un ambiente en el cual los sólidos se desdoblan hasta formar un gas inflamable.

4.4 Procesos bioquímicos

En los bioprocesos se utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción de agentes microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Estos son más adecuados cuando se quiere trabajar con la biomasa húmeda que los proceso térmicos. Éstos se realizan a temperatura ambiente, dentro de estas se destacan: las transformaciones anaerobias y fermentaciones alcohólicas. La digestión anaerobia de la M.O. genera dos corrientes [6]: el gas combustible con una concentración de metano superior al 60% y un poder calorífico inferior a 5500 Kcal/m^3 que se denomina biogás [23]. Un sólido formado con residuos, cuya composición es cercana al abono orgánico tipo compost. También se han desarrollado tratamientos con el uso de biorreactores anaerobios de biopelícula inmovilizadora, usada para biometanización de vinazas [24].

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El departamento del Meta, debido a su producción pecuaria y agrícola, ha sido, desde hace mucho tiempo, una de las principales despensas del centro del país con varios productos, de los cuales, algunos, quedan en el departamento

mientras que los otros son llevados a ciudades importantes como Bogotá, Medellín, Cali, entre otras. Pero es necesario cambiar la visión de la producción agropecuaria con un enfoque de procesos que permita evaluar, cuantificar y determinar cuáles son las materias primas e insumos necesarios para los sistemas agroecológicos de la región y cómo estos generan productos de los cuales se deriva el sustento de las familias y las pequeñas, medianas y grandes empresas que están en el departamento; esta producción también genera residuos de diferentes características [25].

Es necesario aprovechas estos residuos orgánicos, dentro de los cuales, los residuos de cosechas, actividades culturales como la poda [26], el manejo de malezas, entre otros; generan subproductos a los que se les pueden extraer energía para los mismos sistemas de producción agrícola y que también pueden ser fuente de energía para procesos de transformación agroindustrial que necesitan desarrollarse en la región; entre ellos, la producción de biocombustibles como el etanol, biodiesel y biogás que pueden ser fuentes energéticas para el remplazo, en algunas zonas apartadas del departamento, de gasolina y diesel, desarrolladas por las mismas personas de la región para su propia sostenibilidad [27], generando regiones autosuficientes y con un camino más claro hacia lo que se ha denominado el desarrollo sostenible.

5.1 Sector agrícola

El principal producto en el departamento del Meta, según los datos obtenidos del MADR, es el cultivo de la palma africana, seguido del cultivo del arroz, el maíz y el plátano. Para el caso de la palma africana, los residuos como la fibra y el cuesco son usados para producir energía en las plantas extractoras y, en algunos casos, especialmente el cuesco, se usan para producir energía térmica en calderas y calderín para el funcionamiento de los procesos de intercambio de temperatura; así como por medio de turbinas y vapor de agua se puede generar energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos eléctricos de las plantas. En la mayoría de las plantas extractoras, el raquis ha tenido un uso diferente, como es el ingreso a procesos de compostaje para producir bioabonos, que son retornados a los cultivos de palma [28] - [30].

Para la caña de azúcar el bagazo se puede usar para la generación de biocombustibles como etanol, el cual tendría un rendimiento aproximado de 0,34 L/Kg reportado por Forero, citado en [31], el cual es un potencial con la naciente industria de biocombustibles que se está desarrollando con la caña de azúcar en el departamento, fuera de la zona tradicional productora de caña de azúcar como es el Valle del Cauca, en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, propuesta realizada por el grupo Arreglo Productivo Local de Alcohol (APLA), Gobernación del Meta y EMSA [32], [33]. Para caña panelera los residuos se están usando no como poder energético, sino para la alimentación de cerdos, ganado, aves; debido a su alto contenido de azucares y posibilidad de producir productos alimenticios [34] - [36].

Para el caso del café la pulpa y el mucilago se tienen varios usos, dentro de los cuales está la producción de hongos comestibles, ensilaje, lombricultura y finalmente la producción de alcohol. La biomasa puede usarse para producir energía por medio de combustión directa para producir calor y vapor, conversión térmica o bioquímica para producir electricidad y fuerza motriz. Los siguientes datos son citados por CENICAFE: se pueden producir 25 L de biogás /Kg de pulpa fresca; 25,17 ml de etanol son producidos por kilogramo de pulpa fresca. El mucilago puede producir 36,6 L/Kg de mucilago fresco y 58,37 L de etanol por kilogramo de mucilago fresco.

Los residuos de maíz, en el caso de los rastrojos, se usan principalmente para la cobertura superficial de los suelos y protegerlos de la acción del viento, la lluvia y su descomposición aporta nutrientes al suelo [37], [38]. En lo consultado no se han reportado el uso de los residuos del maíz para la producción de energía. Pero como se observa en la tabla 1, el rastrojo es, de todos los residuos, el que más aporte energético tendría, sus usos son como suplementos alimenticios para animales.

De la cascarilla de arroz y del tamo se pueden obtener etanol en una proporción de 2,87g/100g de cascarilla, siendo el tamo (tabla 1) el que más poder energético tiene de los dos residuos [39], [40]. Por otro lado, la cascarilla puede sustituir la necesidad energética de las plantas de procesamiento de arroz, sustituyendo el uso de carbón en el proceso de secado, otra opción es usar en las ladrilleras para la sustitución de carbón en los hornos, esto va a depender del poder calorífico de este residuo. Existen varios usos de la cascarilla como la adecuación de suelos, sustrato de cultivos, etc. [41].

El uso principal de los residuos de banano y plátano están relacionados con la descomposición en campo sin ningún tratamiento, dejandolos descomponer en los lotes productivos, algunos trabajos muestran la posibilidad de su uso como suplemento alimenticio del bovinos en forma de ensilaje, pero puede tener bajos contenidos proteínicos [42], [43]. Existen algunos estudios donde se ha trabajado la producción de etanol pero a partir del fruto y no del raquis y vástago; estos últimos pueden ser usados como combustible para producir vapor y trabajo mecánico necesario para el proceso de producción de etanol; especialmente el vástago de plátano y banano que tienen el mayor potencial energético en relación a los otros residuos [44].

Las tecnologías más usadas para la producción energética a partir de residuos agrícolas están relacionadas con la combustión y pirolisis, usando calderas para la producción de vapor de agua, con el objetivo de generar calor para los procesos de secado, fermentación, intercambios de calor, entre otros. Un ejemplo del uso de estas tecnologías es: banano, plátano, café, arroz, residuos de caña panelera y azucarera, en las extractoras de aceite de palma y palmiste. Un problema de este tipo de tecnologías son las cenizas que quedan después del proceso, las cuales se convierten es un residuos que se almacena y que puede provocar daños al ambiente, en algunos casos, estas son incorporadas en los suelos como enmienda, pero su poder alcalino y contenido nutricional es bajo. Además, este proceso produce gases que son contaminantes o que pueden estar relacionados con el cambio climático como CO_2, SO_2, NOx [45], [46]. Las tecnologías biológicas están en segundo lugar, generalmente usadas en procesos de fermentación, acompañadas de procesos de hidrólisis y destilación, por ejemplo en el caso del banano, plátano, café, arroz, caña panelera y de azúcar, todos con el objetivo de la producción de etanol [47] - [49].

En tercer lugar están las tecnologías usadas para la producción de biogás, a partir de la digestión anaerobia, produciendo principalmente gas metano y dióxido de carbono, el proceso más usado en este tipo de técnicas son los biodigestores [50] -, [52].

La gasificación es un proceso que puede ser interesante para el consumo de grandes cantidades de residuos agrícolas pero tiene inconvenientes desde el punto de vista de la producción de contaminantes como el alquitrán y los altos costos de las instalaciones para generar energía eléctrica. Al igual que la termólisis, en este proceso se produce la combustión de biomasa alquitranes, la gasificación es parcial perdiendo eficiencia en la producción de energía y producción de otros contaminantes [48], [52]

6. CONCLUSIONES

En relación al uso de residuos agrícolas para la producción energética en el departamento del Meta, se puede concluir que existen suficientes residuos para reutilizarlos como fuente energética en la región de la Orinoquia, para procesos de agroindustria, reutilización en procesos agrícolas o el uso energético en hogares rurales con deficiencias en el sistema energético.

Para el departamento, es necesario el desarrollo de una infraestructura necesaria para el procesamiento de los residuos y convertirlos en energía disponible. En la mayoría de los casos, los residuos pasan a un proceso de combustión o pirolisis donde se aprovecha sólo un porcentaje la biomasa, generando cantidades de cenizas que deben ser reutilizadas en otros procesos.

Es necesario que las universidades y centros de investigación generen el conocimiento suficiente para el uso de tecnologías nuevas y más eficientes en el uso de la biomasa para producción energética, antes de que entidades o inversionistas de fuera de la región impongan o exploten un recurso que el departamento está produciendo, el cual puede generar desarrollo, empleo y mejora en el ambiente, reduciendo la contaminación generada por los sistemas de producción agrícola y agroindustrial en la región.

Los biocombustibles y el biogás son una alternativa para la sustitución de combustibles fósiles como gasolina, diesel y gas, especialmente en zonas apartadas de la región donde el sistema eléctrico no es constante o tiene problemas de conexión, donde se usarían estos combustibles para generar energía eléctrica; mejorando las condiciones económicas, sociales y ambientales de una comunidad en particular. Por otro lado, el desarrollo de estas tecnologías debe formar parte de la estrategia de medianos y grandes empresarios para reducir el consumo energético en las empresas, aplicando los principios de ecoeficiencia, desarrollos MDL y certificaciones ambientales que den un valor agregado al producto y abra mercados internacionales.

7. FINANCIAMIENTO

Esta investigación hace parte del programa de investigación ¨Implicaciones Ambientales de la Producción de Biocombustibles en el departamento Meta¨ Financiado por la Corporación Universitaria del Meta.

REFERENCIAS

[1] CEPAL, *Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre Am*érica Latina y el *resto del mundo*, en Diálogo de políticas sobre desarrollo institucional e innovación de biocombustibles en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, 28 y 29 de marzo, 2011, pp. 1-43.

[2] MAVDT, Instituto HumboldT, *Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia con énfasis en Biodiversidad*, Bogotá, 2008, pp. 1-129.

[3] Banco Mundial, *Informe Sobre el Desarrollo Mundial 2008 Agricultura para el Desarrollo*, Banco Internacional de Reconstrucción y fomento/Banco mundial. Washington, USA, 2007, pp. 24-25.

[4] CEPAL, *Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles 2010. en Amé-*

rica Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 28 y 29 de marzo, 2011, pp. 1-40.

[5] Universidad de Antioquia, Grupo GIMEL, *Evaluación del comportamiento energético y Ambiental del Biodiesel,* 2009, pp. 1-139.

[6] H. Escalante, J. Orduz, et al*., Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*, Upme, IDEAM, Colciencias, UIS, 2011, pp. 1-171.

[7] M. Coviello, J. Gomez y C. Razo, *Biocombustibles líquidos para el transporte en América Latina y el Caribe*, Cepal, 2006, pp. 1-183.

[8] C. Cardona y O. Sánchez, "Producción Biotecnológica Carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas", INCI, Vol. 30, No. 11, pp.1-11, 2005.

[9] X. Flotats, E. Campos y A. Bonmati, "Aprovechamiento Energético de residuos ganaderos. 3r Cursd´Enginyria Ambiental", en *Aprofitamentenergétic de residusorgánics*, Lleida, octubre, 1997, pp. 1-21.

[10] S. Sánchez, A. Moya, I.Romero, et al*, Aprovechamiento de residuos de poda del olivar mediante conversión termoquímica. Ingeniería Química,* pp. 194-202

[11] D. Gavrilescu, "Energy from biomass in pulp and paper mills", *Environmental engineering and Management journal,* Vol. 17,No. 4, October, 2008, pp. 537-546.

[12] T. León, "Agrobiocombustibles y ambiente La nueva reconfiguración del campo Colombiano", Vol.10, No.3, diciembre, 2007.

[13] L. Paszner, "Bioethanol: Fuel Of The Future", *Pulp & Paper Canada*, Vol.107, No. 4, Apr., 2006.

[14] G. Morris, *South Africa: Biofuels - Setting boundaries*, in ForeignDirectInvestment. London, Jun 1, 2007. pp. 1-3.

[15] IICA, *Atlas de la Agro energía y los biocombustibles en las Américas*, 2007, [en linea]. Disponible: http://www.iica.int

[16] A. Lehtomaki, *Biogas Production from crops and crops residues*, University of Jyvaskyla, pp. 1-94, 2006.

[17] M. Hoogwijk, A. Faaij,R.Broek, G. Berdens, D. Gielen and W. Turkenburg, "Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy", *Biomass and Bioenergy,* No.25, pp. 119-133, 2003.

[18] S. C. Bhattacharya, P. Abdul, H. Runqing, H. I. Somashekar, D. A. Racelis, P. G. Rathnasiriand and R. Yingyuad, "An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in Selected Asian Countries for 2010", *Biomass & Energy*, No. 29, pp. 153-163.

[19] J. Domínguez, P. Ciria, L. Steban, et al., "Evaluación de la Biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra, España", *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información geográfica*, No. 3 pp. 1-10.

[20] M. Cayetano, "Los Biocarburantes en España un sector en desarrollo", en *Boletín de la G.E.,* No. 50-2009, pp. 111-134.

[21] A. Sordi, S. Souza y C. Oliva, (2002), "Potencial de Energia Primaria deResíduos-Vegetais no Paraná. 4 º", en *Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas, Agrener, pp. 1 – 20.

[22] Anonimo, "Brazil to quadruple biodiesel production. International News on Fats,

Oils and Related Materials: INFORM", Oct., 2006, pp. 17, 10.

[23] P. Martina, J. Corace, B. Wasserman, et al, "Estudio de la producción de biogás en función de la cantidad de residuos de madera en un biodigestor del tipo de carga única o batch", *Avances en energías renovables y medio ambiente*, pp. 23-27, 2005.

[24] B. Kiaer, *Methanogenesisinthermophilic biogas reactSrs*, in Kluwer academic publisher, 1995, pp. 91-102

[25] CORPOEMA, *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia*, pp. 1-367, 2010.

[26] P. Navarro, H. Moral, L. Gómez, et al, *Residuos Orgánicos y Agricultura*, Universidad de Alicante, Secretariado de publicaciones, pp. 1-155, 1995.

[27] International EnviromentalTecnology Centre, *Converting waste agricultural biomass into a resource*, UnitedNations, Japan. 2009.

[28] Cenipalma-Fedepalma, Biodiesel "Una Energía limpia del Campo para Colombia", Cenipalma, 2006, pp. 1-12

[29] Consejo Nacional de Política Económica y social- Departamento Nacional de Planeación, *Lineamientos de política para promover la producción de biocombustibles en Colombia*, marzo 31, 2008, pp. 1-44.

[30] FEDEPALMA, *Principios y criterios para la producción sostenible de la palma de aceite*, Fedepalma y RSPO, 2007, pp. 1-38.

[31] A. Gutiérrez, A. Riaño, J. Muñoz y C. Rivera, "Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos", *Revista Tumbaga*, No 5, pp. 61-95, 2010.

[32] El Tiempo, "Propuesta energética a través de biocombustibles en el Meta", 2011, [en linea]. Disponible: http://m.eltiempo.com/colombia/llano/propuestas-de-energa-atravs-de-biocombustibles-se-mueven-en-el-meta/8535301

[33] E. Toledo, J. Cabrera, A. Leyva, et al., "Estimación de la producción de residuos agrícolas en agro-ecosistemas de caña de azúcar", *Cultivos tropicales,* Vol. 29, No. 3, julio-septiembre, 2008.

[34] L. Jaramillo y M. Tabarez, *Uso de subproductos de la caña panelera*, Corpoica, PRONATTA, pp. 1-23, 1999.

[35] Sena, SAC y FEDEPANELA*, Aprovechamiento de subproductos de la caña panelera en la alimentación animal*, [Convenio 000152], Colombia, pp.1-20.

[36] E. Marcano, A. Padilla y D. Calderón, "Obtención de azucares a Partir de Celulosa Kraft Mediante Hidrolisis con Ácido Sulfúrico Diluido", *Agricultura Andina*, Vol.17, julio-diciembre, 2009.

[37] L. Zea y J. Bolaños, "Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo de maíz", *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 2, No.8, pp. 85-89, 1997.

[38] P. Navarro, H. Moral, L. Gómez, et al., "Valoración energética de Algunos Residuos en un Aserradero de la provincia de Pinar del Río", *Revista Forestal Baracoa,* Vol. 24, pp. 51- 55, diciembre, 2005.

[39] Y. Piñeros, et al., "Evaluación de la producción de etanol a partir de cascarilla de

arroz pre-tratada con NAOCL, mediante hidrólisis y fermentación simultaneas", en *VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, 2010.

[40] R. Rojas y J. Cabanillas, "Producción de alcohol de residuos lignocelulosicos- cascaras de arroz (Oriza Sativa)", *Revista Redesma,* pp. 1-13, julio, 2008.

[41] O. García, M. Hernández, et al., *Formulación y evaluación del programa de producción más limpia para la industria del arroz Diana del Tolima*, [en línea]. Disponible: http://www.laseguridad.ws/consejo/consejo/html/memorias/Memorias_Complementarias_Congreso_39/archivos/trabajos/ambiente/ProduccionmaslimpiaArrozDiana.pdf

[42] F. Intraigo y S. Paz, *Ensilaje de cascara de banano con microorganismos eficaces como alternativa de suplemento para ganado Bovino*, [Tesis de grado], Universidad de EARTH, Costa Rica, 2000.

[43] G. Canché, J. Santos, S. Canto, et al., "Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del Banano", *Información tecnológica,* Vol. 16, No. 1, pp. 83-88, 2005.

[44] H. Velásquez, A. Ruiz y S. Oliveira, "Análisis energético del proceso de obtención del etanol a partir de la fruta del banano", *Revista de la Facultad de Ingeniería*, Universidad de Antioquia, No. 51, pp.87-96, 2010.

[45] J. Lako, T. Yuzhakova, G. Marton, et al., "Biomass a source of chemicals and energy for sustainable development", *Environmental engineering and Management journal,* Vol. 17, No. 4, pp. 497-650, September- October, 2008.

[46] J. Mohamadand K. Karimi, "Pretreatment of lignocellulosic waste to improve ethanol and biogas production: a Review", *International Journal of Molecular Sciences*, pp. 1621-1651, September, 2008.

[47] E. Murgueitio y Z. Calle, "Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia", *Agroforesteria para la producción animal de Latinoamérica*, pp. 27-45.

[48] A. Barnet, L. Pyle and Subramanian, *Biogas technology in the third world, a multidisciplinary review*, in International DevelopmentResearch Centre, pp 1-129, 1978.

[49] C. Monreal, "Utilización de los Residuos agrícolas y Otros Desechos para la Producción de Bioenergía", en *Biocombustibles y Bioproductos*.

[50] C. Mateescu, V. Baran, V.Oros, et al., "Opportunities and barriers for development of biogás technologies in Romania", *Environmental engineering and Management journal*, Vol. 17, No. 4, pp. 603-608, September-October, 2008.

[51] J. Murphy, E. Keogh, G. Kiely, "Technical, economic, environmental analysis of biogasutilization", *Applied Energy*, No.77, pp. 407-427,2004

[52] R. Botero y T. Preston, *Biodigestor de bajo costo para la producción de biocombustibles y fertilizantes a partir de excretas*, [en línea]. Disponible: http://www.utafoundation.org/publications/botero&preston.pdf