

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL
AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DEL META: CASO DE ESTUDIO.**

**NORMA YORLEY PARRA GONZÁLEZ
LESLIE JOHANNA VECINO RINCÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL
AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DEL META: CASO DE ESTUDIO.**

**NORMA YORLEY PARRA GONZÁLEZ
LESLIE JOHANNA VECINO RINCÓN**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero químico

Director

**VIATCHESLAV KAFAROV
PhD. EN Ciencias Tecnicas**

Codirector

**KATHERINE RODRÍGUEZ
Ingeniera Quimica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES	18
1.1 ZONAS NO INTERCONECTADAS.....	18
1.2 ENERGÍAS RENOVABLES	19
1.3 ENERGÍA DE LA BIOMASA	19
1.4 BIOMASA.....	20
1.5 POTENCIAL ENERGÉTICO	21
1.6 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO	22
2. METODOLOGÍA	26
2.1 SELECCIÓN DEL DEPARTAMENTO	26
2.2 SELECCIÓN DE CULTIVOS	27
2.3 REALIZACIÓN DEL MUESTREO.....	29
2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y POTENCIAL ENERGÉTICO	30
2.5 TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA	31
3. RESULTADOS.....	32
3.1 ANÁLISIS ÚLTIMO EN BASE SECA	34
3.2 ANÁLISIS PRÓXIMO EN BASE SECA.....	35
3.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	38
3.4 ANÁLISIS ENERGÉTICO	39

3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO.....	40
3.6 TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA	41
4. CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de las conversiones de la biomasa.....	23
Figura 2. Diagrama de la metodología aplicada en esta investigación.	26
Figura 3. Participación acumulada en área cosechada en el departamento del Meta.....	28

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Análisis último en base seca de residuos agrícolas seleccionados.....	34
Gráfica 2. Análisis próximo en base seca de residuos agrícolas seleccionados. ..	36
Gráfica 3. Análisis estructural de los cultivos seleccionados.	38
Gráfica 4. Análisis energético de los residuos de los cultivos seleccionados.	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Área, producción y rendimiento de cultivos agrícolas seleccionados.	28
Tabla 2. Residuos recolectados y su lugar de origen.	30
Tabla 3. Factor residuo a producto y biomasa residual anual de cada residuo agrícola estudiado.....	32
Tabla 4. Resultados de la caracterización fisicoquímica de los residuos agrícolas seleccionados.	32
Tabla 5. Resultados Potencial energético.....	40

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Modelo matemático para evaluar el PE.....	22
Ecuación 2. Modelo matemático para evaluar el PE de la biomasa residual agrícola.	22
Ecuación 3. Ecuación del factor residuo producto.	29

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Técnicas utilizadas en los análisis de caracterización Físicoquímica.	56
Anexo B. Procedimiento realizado en el análisis estructural de los residuos agrícolas seleccionados.....	57

NOMENCLATURA

AGRONET: Red de información y comunicación estratégica del sector agropecuario.

CF: Carbono Fijo.

E: Energía del Residuo por unidad de masa [TJ/t].

IDAE: Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía.

IPSE: Instituto de planeación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas.

Mrg: Factor de Residuo Generado del Cultivo [t de residuo/t Producto principal].

MV: Material Volátil.

PCI: Poder Calorífico Inferior del Residuo [KJ/Kg residuo seco].

PE: Potencial Energético [TJ/año].

PER: Plan de Energías Renovables.

RAC: Residuos agrícolas de cosecha.

RAI: Residuos agrícolas industriales.

Rc: Rendimiento del cultivo [t producto principal/ha sembrada].

ZNI: Zonas no interconectadas.

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DEL META: CASO DE ESTUDIO.

AUTORES: NORMA YORLEY PARRA GONZÁLEZ
LESLIE JOHANNA VECINO RINCÓN**

PALABRAS CLAVES: Potencial Energético, Poder Calorífico Inferior (PCI), biomasa residual.

En este trabajo se efectuó un estudio de los potenciales energéticos de la biomasa residual proveniente de los cultivos agrícolas más representativos en las zonas no interconectadas del departamento del Meta. Teniendo en cuenta su producción y área de sembrado los cultivos seleccionados fueron: arroz seco mecanizado, maíz tecnificado, plátano y cacao, de los cuales los residuos agrícolas generados estudiados fueron: tamo de arroz, rastrojo de maíz, vástago y hojas de plátano y cáscara de cacao, respectivamente. Por medio del muestreo aleatorio simple en el municipio de Puerto Concordia y de la caracterización fisicoquímica realizada a estos residuos, incluyendo el análisis último, análisis próximo, análisis energético y análisis estructural, se estimó el valor del potencial energético departamental encontrando un valor de 1.651,33 TJ/año; finalmente se sugiere una tecnología de conversión energética teniendo como parámetros los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica. Este estudio presenta una alternativa viable que contribuye a cubrir necesidades energéticas locales de una manera limpia y sostenible mediante la producción de biocombustibles (sustituto de combustibles fósiles) y la generación de electricidad; este tipo de energía mitiga impactos ambientales como emisión de gases contaminantes, ayuda al mejoramiento y conservación de suelos y al incremento de la biodiversidad, así mismo disminuye los costos energéticos en estas zonas aisladas generados por el transporte de combustibles fósiles.

* Proyecto de Grado

** Facultad: físico-química. Escuela: Ingeniería Química Director: Viatcheslav Kafarov

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE ENERGETIC POTENTIAL FROM AGRICULTURAL RESIDUAL BIOMASS IN THE DEPARTAMENT OF META: STUDY CASE.*

AUTHORS: NORMA YORLEY PARRA GONZÁLEZ
LESLIE JOHANNA VECINO RINCÓN**

KEYWORDS: Energetic Potential, Lower Calorific Power (LCP), residual biomass.

In this work we have made a study of the energy potential of waste biomass from the most representative agricultural crops in non-interconnected areas of Meta. Taking into account its production and planted area, were selected: machining upland rice, industrial corn, bananas and cocoa, in which the agricultural waste generated, the studies were: rice chaff, corn stover, stem and leaves of banana peel, cocoa, respectively. Through simple random sampling in the municipality of Puerto Concordia and physicochemical characterization of these wastes, including the last analysis, next analysis, energy analysis and structural analysis, the value of departmental energy potential and found to 1.651,33 TJ/year; finally it is suggested energy conversion technology having as parameters the results suggested the physicochemical characterization. This study presents an alternative that contributes to cover energy local needs in a way sustainable by producing biofuels (substitute for fossil fuels) and electricity generation; this energy mitigates environmental impacts like polluting gases emissions, and it helps to improve soil conservation and to increase biodiversity, It also reduces energy costs in these isolated areas generated by the transport of fossil fuels. This study presents an alternative that contributes to cover energy local needs in a way sustainable by producing biofuels (substitute for fossil fuels) and electricity generation; this energy mitigates environmental impacts like polluting gases emissions, and it helps to improve soil conservation and to increase biodiversity, It also reduces energy costs in these isolated areas generated by the transport of fossil fuels.

* Degree Project.

** Physic-Chemical Faculty: Chemical Engineering School Director: VIATCHESLAV KAFAROV

INTRODUCCIÓN

El hombre está continuamente buscando alternativas que permitan suplir las necesidades energéticas de forma confiable, limpia y económica, con el fin de obtener un hábitat menos contaminante y propender por un desarrollo integral. En la década de 1990 Colombia reestructuró el sector eléctrico con el fin de buscar la competencia en los segmentos donde fuera posible [1].

Todo este nuevo marco se agrupó en la Ley 143 de 1994 o Ley Eléctrica, donde se definió la prestación del servicio mediante el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que abarca aproximadamente el 48% del territorio nacional, donde habita el 95% de la población colombiana.

1. GENERALIDADES

1.1 ZONAS NO INTERCONECTADAS

Colombia presenta un 52% de Zonas No Interconectadas (ZNI) que son denominadas como “áreas geográficas donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional” (Artículo 11 Ley 143 de 1994); contenidas en 90 municipios, 39 cabeceras municipales, 5 capitales departamentales, 1448 localidades y 1´296.000 habitantes; distribuidas en las regiones pacífica, Orinoquía y Amazónica del país [2].

La ZNI se encuentran aisladas energéticamente del resto del territorio nacional debido a sus características geográficas y naturales, las dificultades en el transporte de los energéticos, sumado a las pocas alternativas de generación local, conllevan a que el servicio energético en las ZNI sea escaso, deficiente y de alto costo, mientras que la capacidad de pago por el recurso es baja.

La gestión energética actual para las ZNI, basada en grandes proyectos de interconexión y en la implementación de combustibles fósiles para la generación local, no es adecuada y está causando fuertes impactos ambientales y sociales. Las ZNI requieren soluciones energéticas locales, que sean de fácil acceso, económicas, constantes y confiables.

Estas zonas se caracterizan por ser ricas en biomasa vegetal ofreciendo condiciones edafoclimáticas óptimas para desarrollar gran variedad de cultivos y plantaciones con valor agregado.

1.2 ENERGÍAS RENOVABLES

En el Plan de Energías Renovables (PER 2011-2020) la Agencia Internacional de la Energía, en su publicación “World Energy Outlook 2008” expone que algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles. Esta fuente de energía supone un tercio del consumo energético en África, Asia y Latinoamérica, siendo la principal fuente de energía en los hogares de 2.000 millones de personas”. [3]

En los años recientes el uso de energías renovables en el mundo ha tomado gran importancia debido principalmente a dos factores: el agotamiento de las reservas de fuentes de energías fósiles y la contaminación que produce el uso de combustibles fósiles sobre su entorno, ejemplo de esto es el incremento de la temperatura en todo el planeta.

En este contexto las energías alternativas lucen como un mecanismo adecuado para enfrentar los factores anteriormente mencionados. Dentro de las posibilidades de generación de energías limpias, se encuentran las siguientes fuentes: solar, eólica, biomasa, entre otras; de las cuales se ha generado un gran desarrollo tecnológico para su aprovechamiento a nivel mundial.

1.3 ENERGÍA DE LA BIOMASA

La bioenergía o energía de la biomasa puede obtenerse mediante diversas fuentes de biomasa como de residuos forestales, agrarios o pecuarios, cultivos energéticos, componentes orgánicos de residuos sólidos urbanos, y otras fuentes de desechos orgánicos. [4]

La energía de la biomasa podría ser una solución en estas ZNI; su ciclo comienza con la energía solar que atraviesa la atmósfera y es absorbida por las plantas, las cuales la almacenan en forma de energía química; esta energía está contenida en los diferentes tipos de residuos orgánicos que se generan.

Por otro lado, la producción mundial de la biomasa se estima sea de 146 billones de toneladas métricas que comprende en su mayoría el crecimiento de plantas silvestres [5] y 10 a 50 billones de toneladas en base seca [6], la biomasa ocupa el cuarto lugar como fuente de energía y proporciona el 14% de la energía que el mundo necesita. [7]

1.4 BIOMASA

La biomasa es toda aquella fracción biodegradable de los productos, desechos y los residuos procedentes de la agricultura, de la silvicultura y de las industrias conexas (incluidas las sustancias de origen animal), así como la fracción biodegradable de los residuos industriales municipales. [8]

La biomasa agrícola, es toda aquella sustancia que proviene de cultivos alimentarios o industriales y no es comestible o comercializada, esta biomasa contiene un potencial energético que sometido a transformación se convierte en una fuente alterna de energía renovable y amigable con el medio ambiente.

La biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido en carbón y un elevado contenido en oxígeno y en compuestos volátiles. Los compuestos volátiles, con presencia de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno, son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. Su poder calorífico depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su contenido de humedad.

Estas características, junto con el bajo contenido en azufre, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente. [9]

Los residuos agrícolas de interés energético son del tipo: leñosos, celulósicos, amiláceos, fermentables, oleaginosos y de origen animal. Entre los que pueden tener un potencial energético, se pueden mencionar: cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales, forrajeros y frutales [11].

El problema de este uso de biomasa, en ocasiones de supervivencia, es su falta de desarrollo tecnológico y de eficiencia energética, situándose fuera de una planificación sostenible de su aprovechamiento.

1.5 POTENCIAL ENERGÉTICO

El potencial energético se define como la energía lumínica que toma la biomasa del sol para ser transformada en energía química, mediante reacciones enzimáticas que almacenan en sus enlaces químicos. Esta energía química contenida en la biomasa, puede ser transformada en energía calórica por medio de las vías de aprovechamiento que posteriormente nombraremos. [12]

El cálculo del potencial energético por tipo de cultivo, establece la energía almacenada en su forma primaria y susceptible de ser utilizada en un proceso de transformación. Estos valores pueden ser afectados por la eficiencia de transformación del proceso aplicado a cada producto. La evaluación del PE de diferentes fuentes de energía renovables se realiza mediante el desarrollo de modelos matemáticos. [13]

Generalmente los modelos matemáticos planteados para evaluar el PE se definen como:

Ecuación 1. Modelo matemático para evaluar el PE.

$$PE = Masa\ Residuo * Contenido\ Energético\ Residuo$$

Los diferentes modelos planteados difieren en la forma de expresar la masa de residuo, la cual depende del tipo de biomasa de estudio. Para:

Ecuación 2. Modelo matemático para evaluar el PE de la biomasa residual agrícola.

$$PE = \alpha * A * Rc * \sum_k^2 \sum_i^n Mrs_{i,k} * Yrs_{i,k} * PCI_{i,k} \quad [14]$$

Dónde:

α : Constante de Conversión de unidades igual a $1*10^{-6}$

A: Área cultivada [ha/año]

Mrs: Masa Residuo Seco [t/año]

PCI: Poder Calorífico Inferior del Residuo [KJ/Kg residuo seco]

PE: Potencial Energético [TJ/año]

Rc: Rendimiento del cultivo [t producto principal/ha sembrada]

Yrs: Fracción de Residuo Seco [t residuo seco / t residuo húmedo]

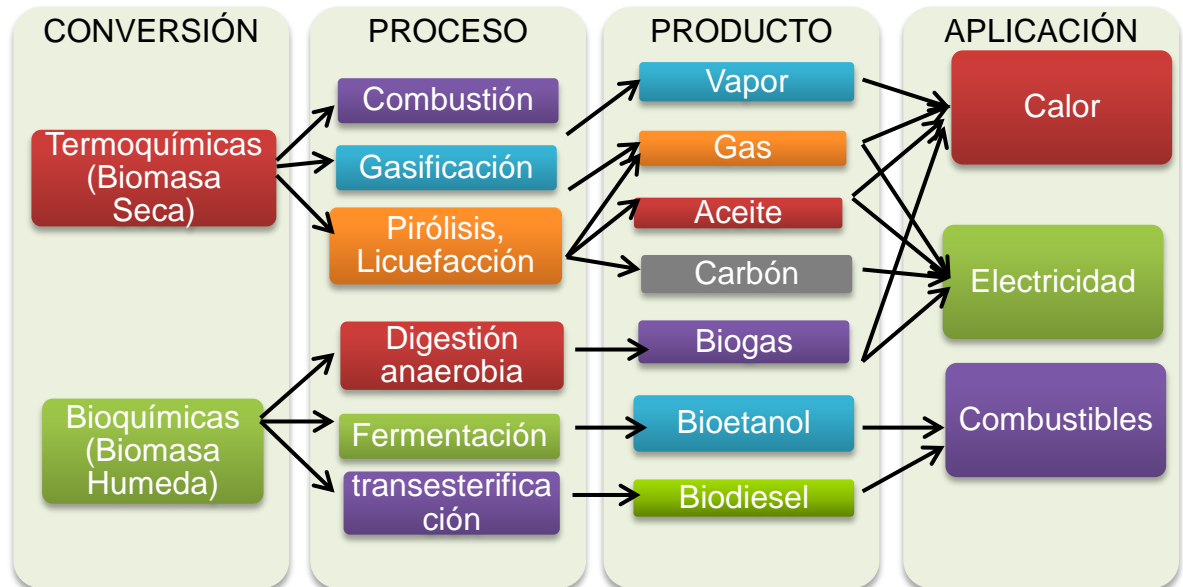
En la anterior ecuación el contador “k” hace referencia a la clasificación de la biomasa ya sea residual agrícola y/o cosecha, el contador “i” hace referencia a los tipos de biomasa residual en cada una de las clasificaciones. [14]

1.6 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

En la figura 1 se muestran los procesos más relevantes para la transformación energética de la biomasa y sus aplicaciones. Puede observarse en dicha figura los procesos más relevantes mediante los que la biomasa puede transformarse en

calor y electricidad: combustión, gasificación, pirólisis, digestión anaerobia, fermentación alcohólica y transesterificación.

Figura 1. Clasificación de las conversiones de la biomasa



Los procesos de combustión, gasificación y pirólisis, denominados genéricamente procesos termoquímicos, implican una descomposición térmica de los componentes de la biomasa, con oxidación de los mismos y liberación asociada de energía en forma de calor, en el caso de la combustión; o la liberación de combustibles intermedios, como ocurre en la gasificación y en la pirólisis. [15]

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que se desarrolla en ausencia de oxígeno y utilizando la acción metabólica de los microorganismos para romper las moléculas que componen la biomasa y producir combustibles líquidos o gaseosos, está fundamentalmente ligado al tratamiento de residuos biodegradables. Por otra parte, están los procesos biológicos como la fermentación alcohólica donde por acción de enzimas, los azúcares de la biomasa son convertidos a etanol o a otros productos químicos con ayuda de levaduras,

este proceso no es conveniente en tipos de biomasa lignocelulósica debido a la dificultad en el rompimiento de sus componentes en azúcares fermentables [16].

Entre los procesos químicos se encuentra la transesterificación, esta consiste en la reacción entre un triglicérido (compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos), contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero (metanol o etanol), obteniéndose como productos glicerina y ésteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, es decir, biodiesel, utilizándose comercialmente materias primas agrícolas de tipo azucarado o amiláceo y oleaginoso. [17]

Para el uso de biomasa seca (contenido de humedad menor al 50%) por medio de procesos termoquímicos se recomienda conocer: el contenido de humedad, proporciones de carbono fijo y volátiles, valor calorífico, metales alcalinos y contenido de cenizas; mientras que 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. [18]

La selección del tipo de aprovechamiento energético y las dificultades que se puedan presentar en cualquier tratamiento posterior dependen de las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y energéticas del residuo, por lo cual, en el uso de determinada tecnología es de vital importancia realizar la caracterización de la biomasa residual.

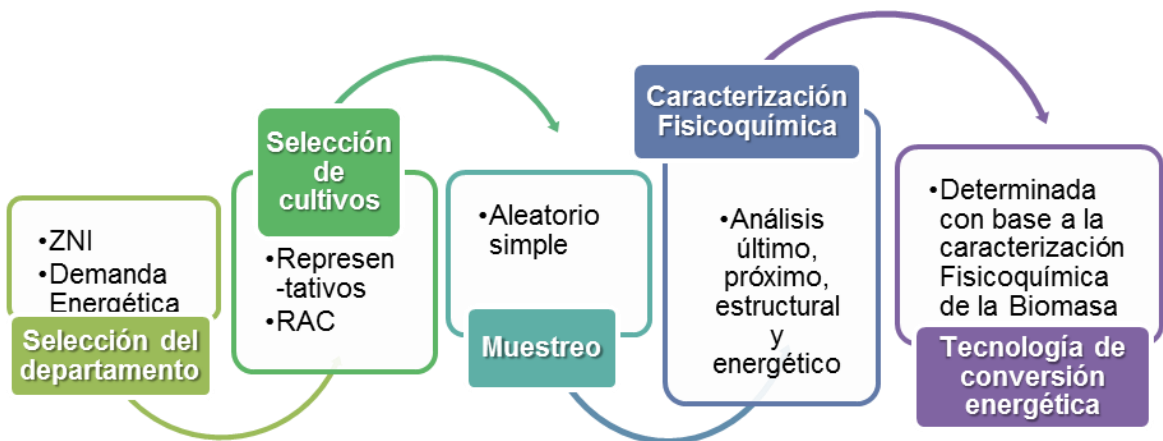
Teniendo como marco de referencia toda la información anteriormente descrita, el alcance de éste trabajo es de evaluar el potencial energético de la biomasa residual agrícola de zonas no interconectadas del departamento del Meta, por medio de la recolección de la biomasa agrícola en la región, seguido de la determinación del potencial energético presente en esta biomasa. Adicionalmente se caracteriza la biomasa fisicoquímicamente a través de tres análisis: próximo,

último y estructural junto con el poder calorífico inferior y finalmente con base en los resultados obtenidos en los análisis nombrados anteriormente sugerir una tecnología de conversión.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente estudio se realizó en cinco secciones consecutivas de acuerdo al orden y lógica del proceso, las cuales se presentan en la figura 2.

Figura 2 Diagrama de la metodología aplicada en esta investigación.



2.1 SELECCIÓN DEL DEPARTAMENTO

Para la selección del sitio de estudio se tuvo en cuenta los departamentos con mayores porcentajes de ZNI en el territorio nacional. El departamento del Meta presenta un índice de ZNI correspondiente al 35,51% de su área total [19].

Los municipios seleccionados para este estudio fueron: La Macarena, Vista Hermosa y Puerto Concordia; por facilidad de acceso y comunicación se escogió el municipio de Puerto Concordia como sitio de muestreo.

2.2 SELECCIÓN DE CULTIVOS

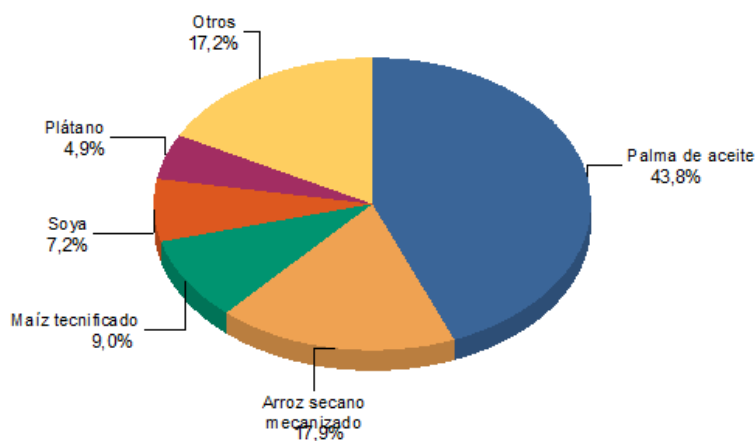
Con base en los reportes del ministerio de agricultura y desarrollo rural, consultados en AGRONET, para el año 2013 (último reporte de la fuente), se identificaron los cultivos más representativos en el departamento, para lo cual se usó como criterio de selección aquellos cultivos que tuvieran mayor producción y mayor área sembrada de cultivo.

La biomasa residual agrícola se conforma de los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas, definidos como residuos agrícolas de cosecha (RAC) y residuos industriales (RI) [16]. Para el presente estudio se seleccionaron los RAC.

Los cultivos seleccionados para este estudio fueron: arroz seco mecanizado, maíz tecnificado, plátano y cacao.

Como se observa en la figura 3, el cultivo de palma presenta mayor área sembrada; sin embargo, este cultivo genera como RAC hojas de la palma, que en su mayoría son dejadas en el suelo como abono reduciendo así el porcentaje de disponibilidad del residuo; por ello no se tuvo en cuenta en la presente investigación.

Figura 3. Participación acumulada en área cosechada en el departamento del Meta.



Fuente: [Agronet] 2013.

Por otra parte, se seleccionó el cultivo de cacao que, aunque no se encuentra dentro de los cinco cultivos más representativos del Meta, es el cuarto cultivo de mayor área sembrada en el municipio de Puerto Concordia [20], sitio de muestreo del presente estudio. El residuo agrícola generado (cáscara de cacao) presenta gran peso en comparación con el producto principal (almendra de cacao). Cabe notar que los residuos generados aumentan a medida que los frutos son picados y desechados.

En la siguiente tabla se relacionan los cultivos seleccionados con su área (ha), producción (t) y rendimiento (t/ha), en orden decreciente respecto a su producción.

Tabla 1. Área, producción y rendimiento de cultivos agrícolas seleccionados.

CULTIVO	ÁREA (ha)	PRODUCCIÓN (t)	RENDIMIENTO (t/ha)
Plátano	15.157	244.435	16,13
Arroz secano mecanizado	51.702	188.359	3,64
Maíz tecnificado	15.570	86.818	5,58
Cacao	3.557	2.101	0,59

2.3 REALIZACIÓN DEL MUESTREO

El sitio del muestreo seleccionado se encuentra ubicado en el municipio de Puerto Concordia en el sector de la Vega; esta zona se caracteriza por presentar terrenos húmedos debido a su cercanía con el río Guaviare y Ariari.

Las parcelas fueron seleccionadas teniendo en cuenta que los cultivos estuviesen en cosecha o presentaran condiciones cercanas a esta y que fueran de tamaño suficiente para garantizar la variabilidad de los datos dentro de cada unidad de muestreo; así mismo garantizando que el tamaño de las plantas fuera similar a lo largo de la plantación.

Se realizó un muestreo aleatorio simple, ubicando cinco puntos distribuidos en la parcela y recogiendo 1 kg de cada muestra de residuo agrícola.

Así mismo se determinó el factor residuo a producto el cuál relaciona el peso del residuo generado con el peso del producto principal, como se observa en la ecuación 3. Se tomaron los pesos del residuo y producto principal de tres plantas diferentes de cada cultivo con tamaños cercanos entre sí, determinando un promedio para calcular el factor residuo a producto.

Ecuación 3. Ecuación del factor residuo producto.

$$\text{Factor residuo a producto} = \frac{\text{Peso del residuo}}{\text{Peso del producto}}$$

Los sitios de muestreo seleccionados y los residuos recolectados se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Residuos recolectados y su lugar de origen.

CULTIVO	RESIDUO AGRÍCOLA	NOMBRE PARCELA	VEREDA	MUNICIPIO
Arroz seco mecanizado	Tamo de arroz	Guanapalo	El paraíso	Puerto concordia
Cacao	Cáscara de cacao	La playita	Playa Nueva	Puerto concordia
Maíz tradicional	Rastrojo de maíz	Los cedros	Caño Marimba	Puerto concordia
Plátano	Vástago y hojas	Guanapalo	El paraíso	Puerto concordia

2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y POTENCIAL ENERGÉTICO

Los análisis realizados para cada residuo agrícola generado fueron análisis último, análisis próximo, análisis energético y análisis estructural de biomasa.

Los análisis próximo y último se realizan en base seca, por lo cual se determina el contenido de humedad presente en cada muestra analizada. Los análisis último, próximo y energético se realizaron en el laboratorio Dr. Calderón Ltda, en la ciudad de Bogotá. Las técnicas implementadas en cada uno de los análisis se describen en el anexo 1.

El análisis estructural se realizó en el laboratorio de biomasa de la Escuela de Ingeniería Química, siguiendo el procedimiento utilizado en el laboratorio Nacional de Energías Renovables de U.S; “Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass”; con reporte técnico N° NREL/TP-510-42618.

2.5 TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA

Se plantea una tecnología de conversión energética con base en los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica.

3. RESULTADOS

En la tabla 3. se ilustra el factor residuo a producto y la biomasa residual anual de cada residuo agrícola estudiado. En la tabla 4 se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica de la biomasa residual agrícola seleccionada.

Tabla 3. Factor residuo a producto y biomasa residual anual de cada residuo agrícola estudiado.

Residuo agrícola	Factor residuo a producto	Biomasa residual anual en el dpto. [Ton/año]
Tamo de arroz	0,25	51283,5
Cáscara de cacao	3,45	7250,7
Rastrojo de maíz	0,56	94958,6
Vástago de plátano	3,61	882410,4
Hojas de plátano	0,31	75774,8

Tabla 4. Resultados de la caracterización fisicoquímica de los residuos agrícolas seleccionados.

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA						
ANÁLISIS	UNIDADES	RESIDUO AGRÍCOLA				
		Tamo de arroz	Cáscara de cacao	Rastrojo de maíz	Vástago de plátano	Hojas de plátano
Análisis de humedad	%p/p	81,9	86,85	48,69	94,37	77,17
Análisis último en base seca						
Carbono	%p/p	37,13	35,95	39,9	36,46	35,74
Hidrógeno	%p/p	4,88	4,29	5,24	4,76	4,67

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA						
ANÁLISIS	UNIDADES	RESIDUO AGRÍCOLA				
		Tamo de arroz	Cáscara de cacao	Rastrojo de maíz	Vástago de plátano	Hojas de plátano
Oxígeno	%p/p	37,12	30,17	39,89	36,13	35,42
Nitrógeno	%p/p	2,16	1,04	0,8	0,48	2,24
Azufre	%p/p	0,2	0,14	0,15	0,15	0,14
Análisis próximo en base seca						
Material Volátil	%p/p	83,26	87,79	95,55	84,75	85,84
Carbono fijo	%p/p	16,44	24,88	22,17	14,81	16,54
Cenizas	%p/p	16,40	10,03	4,11	11,68	12,14
Análisis estructural						
Lignina	%p/p	-----	32,39	12,70	3,46	3,4
Celulosa	%p/p	-----	~ 17,34	~ 47,39	~25,49	~21,03
Hemicelulosa	%p/p	-----	~ 24,44	~ 37,81	~27,04	~32,48
Análisis Energético						
PCI	KJ/Kg	12.903,72	12.836,73	13.854,12	12.669,15	12.422,3
Otros parámetros						
Relación MV / CF	Adimensional	5,065	3,53	4,31	5,72	5,19
Relación C/N	Adimensional	17,19	34,57	49,875	75,95	15,96

En la tabla 4 se puede observar la humedad presente en cada residuo agrícola, de los cuales el tamo de arroz, cáscara de cacao y vástago de plátano, presentan humedades superiores al 50%, el rastrojo de maíz presenta una humedad cercana al 50% (48,69%).

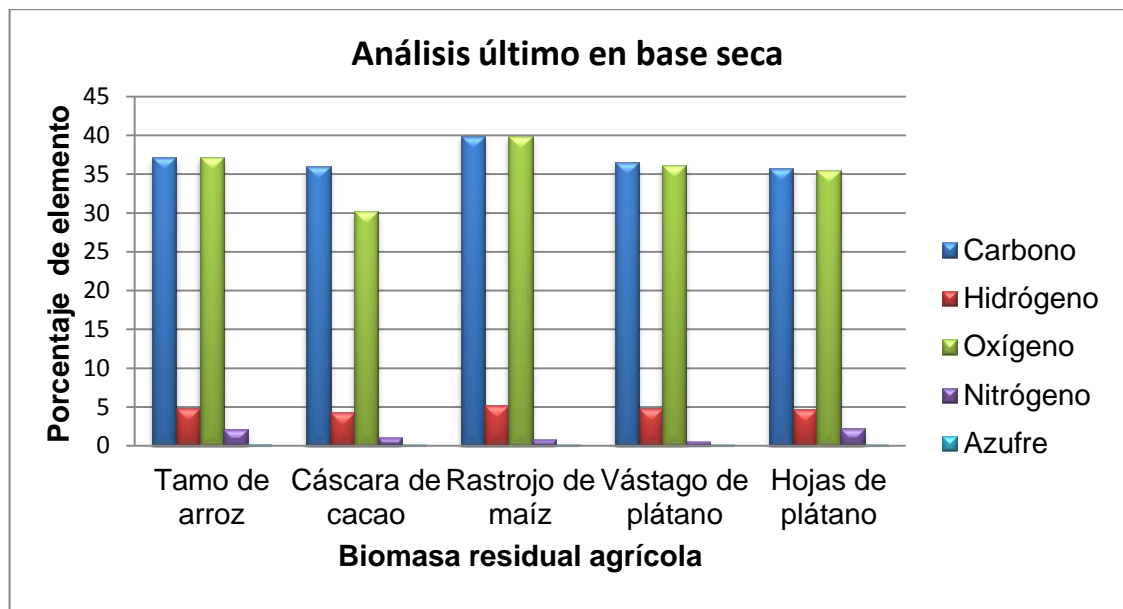
La cantidad de humedad que presenta la biomasa establece *a priori* la tecnología de conversión más adecuada; los procesos de conversión termoquímica son más eficientes con porcentajes de humedad inferiores al 50%, mientras que en procesos de bioconversión pueden emplearse recursos con porcentajes

superiores [21], por lo anterior, se sugiere la implementación de procesos de bioconversión energética con los residuos de estudio

3.1 ANÁLISIS ÚLTIMO EN BASE SECA

La gráfica 1. Presenta el contenido de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre, correspondiente al análisis último, con éste análisis se determina el contenido de compuestos simples que se puede gasificar y aportar energía en las reacciones de combustión.

Gráfica 1. Análisis último en base seca de residuos agrícolas seleccionados.



La biomasa abarca todo tipo de materia orgánica y se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono con un 30-60% en peso, un alto contenido de oxígeno entre el 30-40% en peso, un contenido de hidrógeno del 5-7% en peso y componentes como el nitrógeno y azufre en cantidades cercanas al 1% en peso [21] [22][23] [24] [25]. Por lo anterior, como se ilustra en la gráfica 1 los residuos

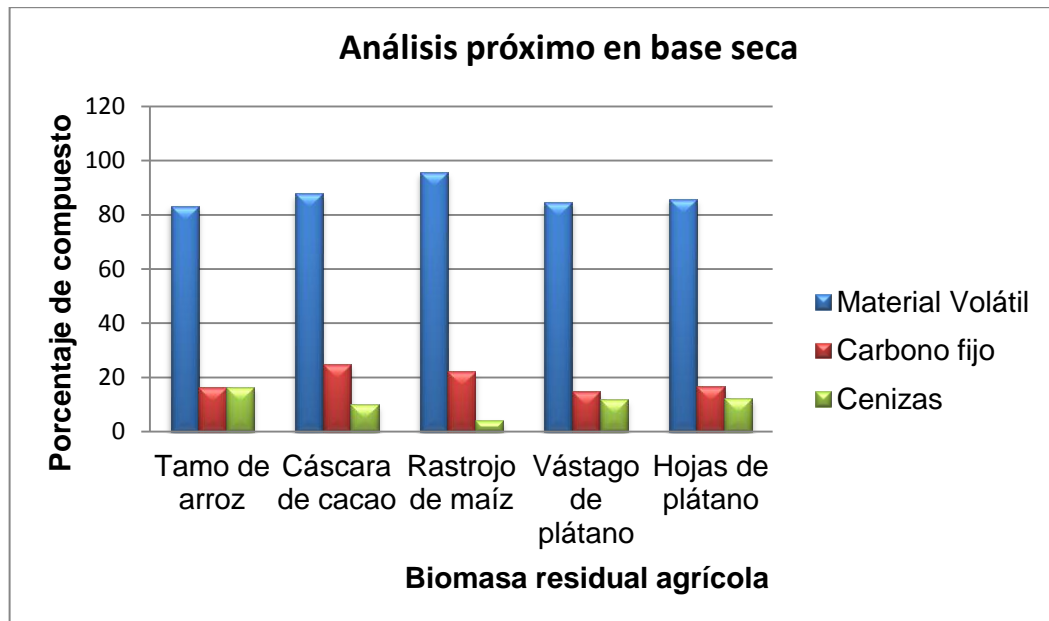
agrícolas analizados presentan valores que se encuentran dentro de los rangos establecidos en la literatura.

En la tabla 4 se observa la relación carbono/ nitrógeno de los diferentes residuos agrícolas, presentando valores desde 15,96 hasta 75,95; la biomasa residual de vegetales verdes se encuentra en un rango de 15 a 30, lo que promueve una rápida descomposición debido a su contenido hídrico [26], para lo cual los residuos de cáscara de cacao, rastrojo de maíz y vástago de plátano presentan valores superiores al rango establecido en la literatura, lo que puede conducir a la formación de concentraciones elevadas de amoníaco.

3.2 ANÁLISIS PRÓXIMO EN BASE SECA

La gráfica 2 ilustra los valores correspondientes al análisis próximo, el cuál sirve para identificar la fracción de la biomasa en la que se encuentra almacenada su energía química (compuestos volátiles y carbono fijo) y la fracción inerte (cenizas) [21].

Gráfica 2. Análisis próximo en base seca de residuos agrícolas seleccionados.



La gráfica 2 ilustra las cantidades de material volátil, carbono fijo y cenizas de los diferentes residuos agrícolas, el contenido de material volátil está presente entre un 83,26 a 95,55% y el carbono fijo se encuentra entre 14,81 a 24,88%.

El contenido de material volátil hace referencia a los compuestos orgánicos condensables y no condensables que son liberados de la biomasa cuando esta es calentada. (pirólisis)

El contenido de material volátil en la biomasa oscila entre el 60-85% en peso en base seca [21] [27] [25]. Los residuos analizados presentan valores superiores a este rango, como los residuos de cáscara de cacao con 87,79% y rastrojo de maíz con 95,55%, lo que favorece una llama viva en procesos de combustión.

El carbono fijo es la fracción que permanece una vez se han desprendido los compuestos volátiles, su contenido se encuentra entre el 10 y el 20% [21],

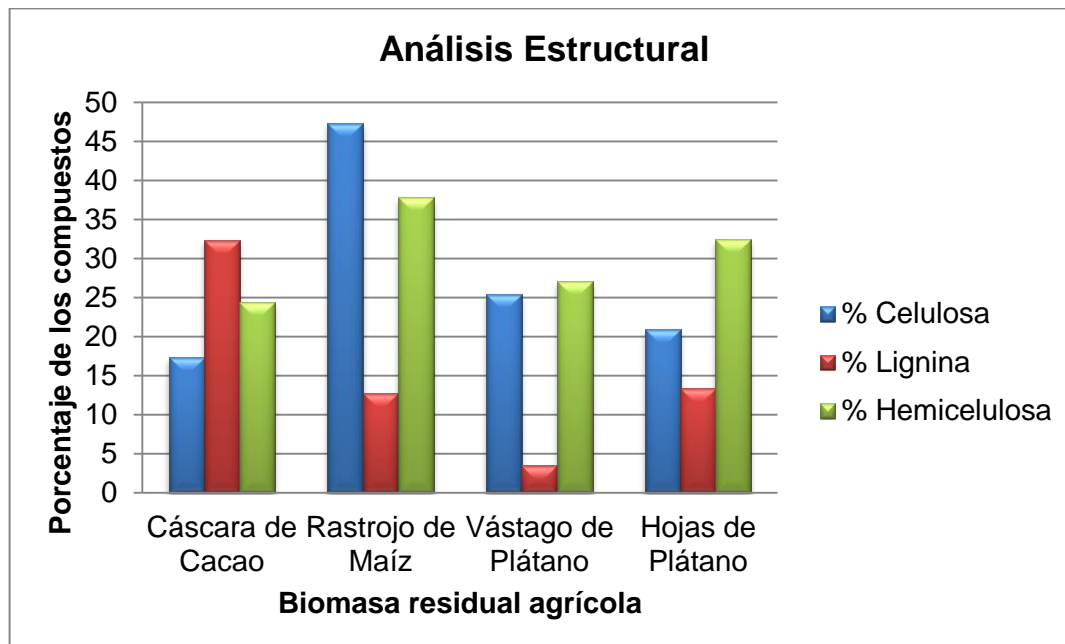
encontrándose valores de los residuos agrícolas analizados en el rango establecido, exceptuando la cáscara de cacao que presenta un valor superior con 24,88%.

En la tabla 4 se observa la relación entre el porcentaje de material volátil y el porcentaje de carbono fijo, presentando su valor mínimo la cáscara de cacao y su valor máximo el vástago de plátano con 3,53 y 5,72 respectivamente. Esta relación indica la facilidad con la cual se produce su ignición, cuanto mayor es este índice, más reactiva es la materia y menor tiempo de residencia necesita para su combustión completa [21].

La gráfica 2 ilustra los valores de ceniza de los diferentes residuos agrícolas encontrando valores entre 4,11 y 16,4. En la literatura se encuentra que el contenido de cenizas de la biomasa presenta un rango de 0,5 a 5% de peso en base seca [22] [28], por consiguiente, los residuos de tamo de arroz, cáscara de cacao, vástago y hojas de plátano presentan valores superiores al rango establecido pudiendo afectar la manipulación, procesamiento y costos de conversión energética.

3.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Gráfica 3. Análisis estructural de los cultivos seleccionados.



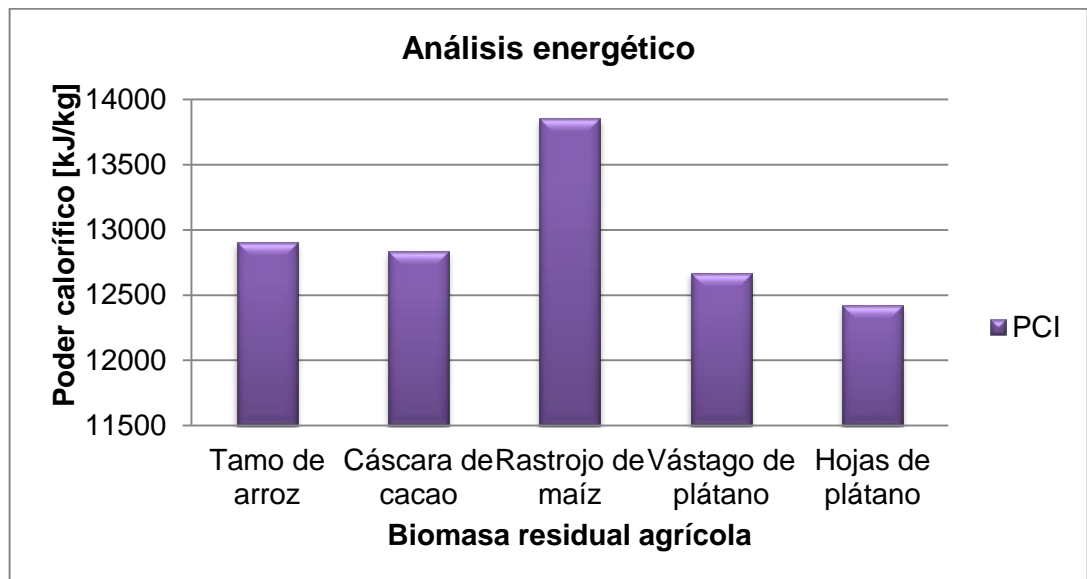
En la gráfica 3 se ilustran los valores aproximados de los porcentajes de celulosa, lignina y hemicelulosa obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los residuos agrícolas seleccionados. La cáscara de cacao reporta contenidos de 17,33% celulosa, 32,39% lignina y 24,44% hemicelulosa. El rastrojo del maíz presenta valores aproximados de 47,39 % celulosa, 12,70 % lignina y 37,81% hemicelulosa. Los resultados de las hojas de plátano son 21,03 % celulosa, 13,37% lignina y 32,48% hemicelulosa. Los valores reportados para el vástago del plátano son 25,49% celulosa 3,46 %lignina y 27,04% hemicelulosa.

Los contenidos de celulosa, lignina y hemicelulosa de las muestras analizadas en su mayoría se encuentran entre valores establecidos para las paredes celulares vegetales, las cuales contienen principalmente 20-50 % en celulosa sobre una base en peso seco, hemicelulosa de 15-35%, y lignina de 10-30 % [29]. Sin embargo, la cáscara de cacao reporta un porcentaje de lignina superior al rango

establecido y el vástago de plátano presenta un porcentaje menor de lignina, lo cual pudo presentarse por variaciones en el tiempo de maduración del material vegetal [30] [31] [32]. La cáscara de cacao presenta contenidos de celulosa menores al rango establecido, esto puede deberse principalmente a la facilidad de biodegradabilidad de este componente [18].

3.4 ANÁLISIS ENERGÉTICO

Gráfica 4. Análisis energético de los residuos de los cultivos seleccionados.



La gráfica 4 muestra los poderes caloríficos de los diferentes residuos agrícolas presentando valores entre 12422,3 y 13854,12 kJ/kg. El poder calorífico de la biomasa aumenta con el contenido en carbono e hidrógeno y disminuye a medida que aumenta el de oxígeno [23] [27]; según la literatura, los rangos del poder calorífico de la biomasa oscilan entre 3000 y 3500 kcal/kg (aproximadamente 12500 y 14600 kJ/kg); encontrándose los residuos agrícolas de estudio dentro del rango establecido.

3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO

El potencial energético se determina por el modelo presentado en la ecuación 2, mostrando los resultados en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados Potencial energético.

DETERMINACIÓN POTENCIAL ENERGÉTICO							
Análisis	Unidades	Residuo agrícola					Total
		Tamo de arroz	Cáscara de cacao	Rastrojo de maíz	Vástago de plátano	Hojas de plátano	
P.E Municipio	TJ/año	0,651	0,6347	2,149	10,904	3,723	18,063
P.E Dpto	TJ/año	119,78	12,239	675,1	629,4	214,9	1.651,33

El PE calculado para los diferentes RAC varía dependiendo de cada una de las variables presentes en el modelo matemático, entre los cultivos seleccionados se obtienen potenciales energéticos entre 12,239 y 675,1 TJ/año a nivel departamental y entre 0,6347 a 10,904 TJ/año a nivel municipal, esto se debe a la diferencia entre los tipos de RAC, los factores de residuo y el rendimiento de cada residuo. Cabe resaltar que, para el cálculo del PE en el departamento se mantuvo fijo los valores del factor residuo producto y del PCI.

La tabla 5 ilustra los diferentes potenciales energéticos de los residuos analizados en el municipio de Puerto Concordia y en el departamento del Meta, encontrando que de los RAC analizados, el cultivo de plátano presentan mayor aporte energético con el vástago de plátano, obteniendo valores a nivel municipal de 10,904 TJ/año y a nivel departamental de 629,4 TJ/año.

El departamento del Meta presenta una demanda energética de 5,809 Gwh para el año 2014 en sus ZNI [33]. El aporte energético de los residuos agrícolas

analizados en el departamento del Meta es de 1.651,33 TJ/año, lo que equivale a 458,7 Gwh.

Una vez estudiada la distribución del potencial energético con relación a las cuatro especies de biomasa contempladas se puede decir que el desarrollo energético generado a partir de los residuos agrícolas estudiados puede abastecer la demanda energética de las ZNI en el departamento.

3.6 TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA

El uso energético de la biomasa requiere de una serie de procesos previos de preparación que implican recolección, transporte, acondicionamiento, almacenamiento, secado, molido y densificación. [20]

La selección de la tecnología de conversión energética más apropiada depende de diversos parámetros. Un factor importante es la humedad, la cual en los resultados de la caracterización de las muestras dio porcentajes mayores al 50%, por tal razón no se recomienda el uso de procesos termoquímicos. Por otra parte el porcentaje de material volátil de los residuos seleccionados es superior al 60%, según el Departamento de Calidad y Medio Ambiente Centro Tecnológico de España plantea que la biomasa con porcentajes de material volátil superior al 60% es buen sustrato para procesos de digestión anaerobia. Además los valores de la relación C/N presente en las muestras analizadas son superiores al rango establecido (15-30) por esto se hace necesario la mezcla de esta biomasa con otros sustratos para disminuirla. Por lo anteriormente dicho, teniendo en cuenta las condiciones del lugar donde se tomó el muestreo (ZNI), se sugiere como tecnología de conversión energética la digestión anaerobia, ya que esta emplea diversas materias primas de escaso valor, sus sistemas de producción son conocidos, simples y fáciles de gestionar[34], además genera un efluente que

puede ser usado como abono o para riego, según la cantidad de sólidos residuales o agua y el contenido de nitrógeno[35] .

El biogás producido, puede ser utilizado en la propia instalación para generación de electricidad y/o calor (co-generación); con el consiguiente beneficio económico y no genera olores molestos, produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO5, con pocos sólidos y poco fósforo lo que favorece al medio ambiente [36].

4. CONCLUSIONES

- El departamento del Meta presenta como cultivos principales el arroz, plátano, maíz y cacao, generando cerca de 1.111.678,18 de toneladas de residuos al año. Los cuales aportan un potencial energético de 1.651,33 TJ/año correspondiente a los residuos agrícolas seleccionados.
- De los análisis fisicoquímicos realizados el porcentaje de material volátil presente en los diferentes residuos agrícolas, presenta valores significativos entre 83,4% y 95,55%, lo que concentra gran parte del poder calorífico de la biomasa obteniendo un mayor aprovechamiento energético.
- La producción energética en el departamento del Meta por medio del uso de residuos agrícolas de los principales cultivos de la región es una estrategia energética limpia y renovable, a su vez la cantidad de residuos agrícolas generados de los principales cultivos agrícolas del departamento puede abastecer cerca del 50% de la demanda energética.
- La tecnología de conversión energética más apta a las condiciones de los residuos estudiados en el departamento del Meta es la digestión anaerobia, con la cual se producen biocombustibles como sustituto de combustibles fósiles (gasolina, diesel, gas) especialmente en lugares aislados donde el transporte de estos combustibles genera altos costos energéticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FLÓREZ A. JORGE H.; TOBÓN O. DAVID; CASTILLO Q. GUSTAVO A. ¿Ha Sido Efectiva La Promoción De Soluciones Energéticas En Las Zonas No Interconectadas (ZNI) En Colombia?: Un Análisis De La Estructura Institucional: Definición y descripción de las ZNI en Colombia. En: cuadernos de Administración [en línea]. Vol.22 no. 38 Bogotá, Junio 2009.____<
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922009000100011 >.

[2] INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENEGETICAS (IPSE). Soluciones Energéticas Para Las Zonas No Interconectadas de Colombia. 2014.
<<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>>.

[3] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE), Plan De Energías Renovables 2011-2020: Situación actual en el mundo. [En línea]. Madrid, 2011, pág. 142
<http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_per_2011-2020_def_93c624ab.pdf>.

[4] GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC), Fuentes De Energía Renovables Y Mitigación Del Cambio Climático, resumen para responsables de políticas y resumen técnico: Fuentes y tecnologías de la energía renovable consideradas en el presente Informe. [En línea]. 2011, pág. 8. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf>.

[5] DEMIRBAS A. Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. 1 ed. 2008. pág. 7.

[6] LÓPEZ F, ALFARO A, CAPARRÓS S, GARCÍA MM, PÉREZ A, GARROTE G. Aprovechamiento Energético E Integrado Por Fraccionamiento de Biomasa Lignocelulósica Forestal y Agroindustrial, caracterización de Hemicelulosas, Celulosas Y Otros Productos del Fraccionamiento, Boletín del CIDEU 5:7-19. Huelva, 2008. pág.9. ISSN 1885-5237.

[7] A. ALVAREZ, R. SALGADO, E. GARCIA, M.M. DOMINGUEZ, J.M GRANADOS A. AGUIRRE, R. CARMKONA, A. MORALES, P.J. HERRERA,, A. LICEA, A. M MENDOZA. Aprovechamiento Integral de los Materiales Lignocelulócicos, Revista Iberoamericana de Polímeros. [en línea]. Vol. 13(4) (septiembre 2012), pág.141 <<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/SEPT12/alvarez.pdf>>.

[8] DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 23 DE ABRIL DE 2009. Relativa Al Fomento Del Uso De Energía Procedente De Fuentes Renovables. Agencia Estatal Boletín Oficial, Gobierno de España ministerio de la presidencia, núm. 140, (junio, 2009), Unión Europea, ref: DOUE-L-2009-81013 <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-81013>>.

[9] MÍGUEZ GÓMEZ CLAUDIO DANIEL. La Eficiencia Energética En El Uso De La Biomasa Para La Generación De Energía Eléctrica: Optimización Energética Y Exergética. Tesis doctoral. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA), Madrid 2013, pág. 16

[10] REDEL YONATHAN, RUBIO ROSA, BORIE FERNANDO, Efecto de la Adición de Residuos de Cosecha y de un Hongo Micorrizógeno sobre el Crecimiento de Trigo y Parámetros Químicos y Biológicos de un Andisol. En:

Agricultura técnica. [En línea] v. 66, n. 2 (abril-junio 2006). <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072006000200008>.

[11] SEOÁNEZ CALVO MARIANO. Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos. Colección Ingeniería Del Medio Ambiente Series, Ingeniería del medio ambiente. Pág. 625.

[12] CORREDOR BECERRA OSCAR FERNANDO. Evaluación Del Potencial Energético De La Biomasa Residual Proveniente De Cultivos Energéticos., Bucaramanga 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisicoquímica. pág.5.

[13] PERERA, K.K.C.K; RATHNASIRI, P.G; SENARATH, S.A.S; SUGATHAPALA, A.G.T; BHATTACHARYA, S.C; ABDUL SALAM, P. Assesment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in sri Lanka. En: Biomass and Bionergy. Vol. 29. (2005). pág. 199-213.

[14] ESCALANTE H, ORDUZ J, ZAPATA H, CARDONA M. C, DUARTE M. Atlas del Potencial Energético Residual en Colombia. Ediciones UIS. 2010. pág.150-151

[15] CARRASCO GARCÍA JUAN E. Módulo: Biomasa: Combustión Directa De La Biomasa: Procesos de Conversión Energética de la Biomasa. En: Master en Energías Renovables y Mercado energético 2007/2008. [En línea]. Escuela de negocios EOI. pág. 4. <http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf>.

[16] PRABIR BASU. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design. En: books Google. [En línea]. (USA 2010). pág. 10. <<https://books.google.com.co/books?id=QSypbUSdkikC&printsec=frontcover&hl=e>>

s&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=snippet&q=fermentation%20for%20sugar&f=false

[17] GANDUGLIA FEDERICO-IICA, EQUIPO DE PROYECTOS DE BIOCOMBUSTIBLES DE ARPEL. Manual De Biocombustibles. Sección 1: Downstream. (Octubre, 2009). pág.1

[18] McKENDRY P. Energy Production from Biomass (part 1): overview of biomass; Bioresource Technology. ELSEVIER, Vol. 83. (2001). pág. 55-63.

[19] SUBDIRECCIÓN DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA GRUPO DE COBERTURA Y FONDOS. Plan Indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2010-2014 (preliminar). Diciembre de 2010.

[20] AGRONET. Anuario 2013 área: producción y rendimiento. Base evaluaciones agropecuarias municipales EVA 2007-2013.

[21] NOGUES F, GARCIA D, REZEAU A Energía de la biomasa (volumen 1), Prensa universitaria de Zaragoza 2010. Pág 44-45.

[22] CASTELLS XAVIER, Tratamiento y valorización energética de residuos, edición Díaz de Santos S.A, 2012. Pág 106-107.

[23] VARGAS, Ma del Carmen, *et al.* De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Red española de compostaje. Ediciones mundi-prensa. 2014. Pag.38

[24] DE JUANA JOSE, Energías renovables para el desarrollo, primera edición, España 2005. Pág 220.

[25] MACÍAS, R. J., CHEJNE, F., MONTOYA, J. I. Y BLANCO, A. Gasificación de bagazo de caña y carbón en planta piloto. En: Revista Mutis Vol. 4(1). (2014). pág. 24-32

[26] GONZÁLEZ J. Energías Renovables. Barcelona. (2009). pág. 268.

[27] SAN MIGUEL G, GUTIERREZ F. tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Universidad politécnica de Madrid. (2015). Pág. 196.

[28] MIGUEL BARROSO CASILLAS. Pretratamiento de Biomasa Celulósica para la Obtención de Etanol en el Marco de una Biorrefinería. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. (2010). Pág. 4

[29] FARINAS CRISTIANE S., Developments in solid-state fermentation for de production of biomass- degrading enzymes for the bioenergy sector, ELSEVIER: Renewable and sustainable energy reviews. Vol. 52. (Diciembre, 2015). Pág. 179-188.

[30] RAMÍREZ O. RAFAEL, RAMÍREZ L. ROQUE G., LÓPEZ G. FRANCISCO. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. Ciencia UANL. Vol. V. número 002. (2002). Pág. 180-189.

[31] VALENCIAGA DAIKY, CHONGO BERTHA. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. En: Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Vol. 38. No. 4. (2004). pág. 343-350.

[32] BAENA LUZ MARINA, GARCÍA CARDONA NATALIA ANDREA. Obtención Y Caracterización De Fibra Dietaría A Partir De Cascarilla De Las Semillas Tostadas De Theobroma Cacao L. De Una Industria Chocolatera Colombiana. Trabajo de

Grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica De Pereira, (Pereira 2012).
Pág. 52

[33] CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. Informe de auditoría
electrificadora de la meta S.A ESP-EMSA S.A ESP [en línea].
<<http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/75394654/Informe+ELECTRIFICADORA+DEL+META-2011.pdf/1c81ff7c-972f-47cc-8e89-9929adc2504a>>
[citado en Junio de 2012]. Pág 23.

[34] CARRILLO LEONOR, Energía de Biomasa (fotosíntesis, biomasa, conversión
por microorganismos, biogás, etanol, biodiesel): Digestores anaeróbicos. edición
del autor. [En línea] (2004). CDD 534.0363 722. ISBN 987-43-8679-7. pág. 30.
<<http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Plantas%20de%20Tratamientos/Energia%20de%20biomasa.pdf>>.

[35] AGROWASTE, Digestión anaerobia .pág. 8 <<http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>>.

[36] MINEENERGIA/PNUD/GEF. Manual de Biogás. [En línea]. (FAO 2011). pág.
14. <<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>>.

BIBLIOGRAFÍA

A. ALVAREZ, R. SALGADO, E. GARCIA, M.M. DOMINGUEZ, J.M GRANADOS A. AGUIRRE, R. CARMKONA, A. MORALES, P.J. HERRERA,, A. LICEA, A. M MENDOZA. Aprovechamiento Integral de los Materiales Lignocelulósicos, Revista Iberoamericana de Polímeros. [en línea]. Vol. 13(4) (septiembre 2012), pág.141 <<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/SEPT12/alvarez.pdf>>.

AGRONET. Anuario 2013 área: producción y rendimiento. Base evaluaciones agropecuarias municipales EVA 2007-2013.

AGROWASTE, Digestión anaerobia .pág. 8 <<http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>>.

BAENA LUZ MARINA, GARCÍA CARDONA NATALIA ANDREA. Obtención Y Caracterización De Fibra Dietaria A Partir De Cascarilla De Las Semillas Tostadas De Theobroma Cacao L. De Una Industria Chocolatera Colombiana. Trabajo de Grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica De Pereira, (Pereira 2012). Pág. 52

CARRASCO GARCÍA JUAN E. Módulo: Biomasa: Combustión Directa De La Biomasa: Procesos de Conversión Energética de la Biomasa. En: Master en Energías Renovables y Mercado energético 2007/2008. [En línea]. Escuela de negocios EOI. pág. 4. <http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf>.

CARRILLO LEONOR, Energía de Biomasa (fotosíntesis, biomasa, conversión por microorganismos, biogás, etanol, biodiesel): Digestores anaeròbicos. edición del autor. [En línea] (2004). CDD 534.0363 722. ISBN 987-43-8679-7. pág. 30. <<http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Plantas%20de%20Tratamientos/Energia%20de%20biomasa.pdf>>.

CASTELLS XAVIER, Tratamiento y valorización energética de residuos, edición Díaz de Santos S.A, 2012. Pág 106-107.

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. Informe de auditoría electrificadora de la meta S.A ESP-EMSA S.A ESP [en línea]. <<http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/75394654/Informe+ELECTRIFICADORA+DEL+META-2011.pdf/1c81ff7c-972f-47cc-8e89-9929adc2504a>> [citado en Junio de 2012]. Pág 23.

CORREDOR BECERRA OSCAR FERNANDO. Evaluación Del Potencial Energético De La Biomasa Residual Proveniente De Cultivos Energéticos., Bucaramanga 2008. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisicoquímica. pág.5.

DE JUANA JOSE, Energías renovables para el desarrollo, primera edición, España 2005. Pág 220.

DEMIRBAS A. Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. 1 ed. 2008. pág. 7.

DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 23 DE ABRIL DE 2009. Relativa Al Fomento Del Uso De Energía Procedente De Fuentes Renovables. Agencia Estatal Boletín Oficial, Gobierno de España

ministerio de la presidencia, núm. 140, (junio, 2009), Unión Europea, ref: DOUE-L-2009-81013 <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-81013>>.

ESCALANTE H, ORDUZ J, ZAPATA H, CARDONA M. C, DUARTE M. Atlas del Potencial Energético Residual en Colombia. Ediciones UIS. 2010. pág.150-151

FARINAS CRISTIANE S., Developments in solid-state fermentation for de production of biomass- degrading enzymes for the bioenergy sector, ELSEVIER: Renewable and sustainable energy reviews. Vol. 52. (Diciembre, 2015). Pág. 179-188.

FLÓREZ A. JORGE H.; TOBÓN O. DAVID; CASTILLO Q. GUSTAVO A. ¿Ha Sido Efectiva La Promoción De Soluciones Energéticas En Las Zonas No Interconectadas (ZNI) En Colombia?: Un Análisis De La Estructura Institucional: Definición y descripción de las ZNI en Colombia. En: cuadernos de Administración [en línea]. Vol.22 no. 38 Bogotá, Junio 2009. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922009000100011 >.

GANDUGLIA FEDERICO-IICA, EQUIPO DE PROYECTOS DE BIOCOMBUSTIBLES DE ARPEL. Manual De Biocombustibles. Sección 1: Downstream. (Octubre, 2009). pág.1

GONZÁLEZ J. Energías Renovables. Barcelona. (2009). pág. 268.

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC), Fuentes De Energía Renovables Y Mitigación Del Cambio Climático, resumen para responsables de políticas y resumen técnico: Fuentes y tecnologías de la energía renovable consideradas en el presente Informe. [En

línea]. 2011, pág. 8. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf>.

INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENEGETICAS (IPSE). Soluciones Energéticas Para Las Zonas No Interconectadas de Colombia. 2014. <<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>>.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE), Plan De Energías Renovables 2011-2020: Situación actual en el mundo. [En línea]. Madrid, 2011, pág. 142 <http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_per_2011-2020_def_93c624ab.pdf>.

LÓPEZ F, ALFARO A, CAPARRÓS S, GARCÍA MM, PÉREZ A, GARROTE G. Aprovechamiento Energético E Integrado Por Fraccionamiento de Biomasa Lignocelulósica Forestal y Agroindustrial, caracterización de Hemicelulosas, Celulosas Y Otros Productos del Fraccionamiento, Boletín del CIDEU 5:7-19. Huelva, 2008. pág.9. ISSN 1885-5237.

MACÍAS, R. J., CHEJNE, F., MONTOYA, J. I. Y BLANCO, A. Gasificación de bagazo de caña y carbón en planta piloto. En: Revista Mutis Vol. 4(1). (2014). pág. 24-32

McKENDRY P. Energy Production from Biomass (part 1): overview of biomass; Bioresource Technology. ELSEVIER, Vol. 83. (2001). pág. 55-63.

MIGUEL BARROSO CASILLAS. Pretratamiento de Biomasa Celulósica para la Obtención de Etanol en el Marco de una Biorrefinería. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. (2010). Pág. 4

MÍGUEZ GÓMEZ CLAUDIO DANIEL. La Eficiencia Energética En El Uso De La Biomasa Para La Generación De Energía Eléctrica: Optimización Energética Y Exergética. Tesis doctoral. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA), Madrid 2013, pág. 16

MINEENERGIA/PNUD/GEF. Manual de Biogás. [En línea]. (FAO 2011). pág. 14. <<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>>.

NOGUES F, GARCIA D, REZEAU A Energía de la biomasa (volumen 1), Prensa universitaria de Zaragoza 2010. Pág 44-45.

PERERA, K.K.C.K; RATHNASIRI, P.G; SENARATH, S.A.S; SUGATHAPALA, A.G.T; BHATTACHARYA, S.C; ABDUL SALAM, P. Assesment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in sri Lanka. En: Biomass and Bionergy. Vol. 29. (2005). pág. 199-213.

PRABIR BASU. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design. En: books Google. [En línea]. (USA 2010). pág. 10. <https://books.google.com.co/books?id=QSypbUSdkikC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=snippet&q=fermentation%20for%20sugar&f=false>.

RAMÍREZ O. RAFAEL, RAMÍREZ L. ROQUE G., LÓPEZ G. FRANCISCO. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. Ciencia UANL. Vol. V. número 002. (2002). Pág. 180-189.

REDEL YONATHAN, RUBIO ROSA, BORIE FERNANDO, Efecto de la Adición de Residuos de Cosecha y de un Hongo Micorrizógeno sobre el Crecimiento de Trigo y Parámetros Químicos y Biológicos de un Andisol. En: Agricultura técnica. [En

línea] v. 66, n. 2 (abril-junio 2006).
<http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072006000200008>.

SAN MIGUEL G, GUTIERREZ F. tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Universidad politécnica de Madrid. (2015). Pág. 196.

SEOÁNEZ CALVO MARIANO. Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos. Colección Ingeniería Del Medio Ambiente Series, Ingeniería del medio ambiente. Pág. 625.

SUBDIRECCIÓN DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA GRUPO DE COBERTURA Y FONDOS. Plan Indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2010-2014 (preliminar). Diciembre de 2010.

VALENCIAGA DAIKY, CHONGO BERTHA. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. En: Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Vol. 38. No. 4. (2004). pág. 343-350.

VARGAS, Ma del Carmen, et al. De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Red española de compostaje. Ediciones mundi-prensa. 2014. Pag.38

ANEXOS

Anexo A. Técnicas utilizadas en los análisis de caracterización Fisicoquímica.

Parámetro	Técnica utilizada	Referencia
Porcentaje de humedad		
Humedad	Gravimetría	NTC 35
Análisis último		
Carbono	Walkley black	NTC 5167
Hidrógeno	Para la determinación elemental de H y O se realiza a partir de un análisis bromatológico, en donde obtenemos: Celulosa, Hemicelulosa, Lignina, Proteína, Extracto no nitrogenado, Extracto Etéreo, Ceniza. Luego de determinados estos parámetros se procede a realizar un análisis estequiométrico para conocer los valores de C, N, S, H y O.	
Oxígeno		
Nitrógeno	Volumetría	LBC 7 Kjeldahl
Azufre	Turbidimetría	NTC 1174
Análisis próximo		
Cenizas	Gravimetría	NTC 4431
Material volátil	Gravimetría	NTC 5167
Carbono fijo	Fórmula	100-MV ausencia de oxígeno- ceniza en presencia de oxígeno
Análisis energético		
PCI	Fórmula	Dulong

Anexo B. Procedimiento realizado en el análisis estructural de los residuos agrícolas seleccionados.

FASE	PROCEDIMIENTO	FUNCIÓN	EQUIPO UTILIZADO
Secado y molienda	Se colocan los residuos en el horno a 105 °C por 24 horas, seguido a ello se trituran y se tamizan en mallas N° 20, 60 y 80.	Retirar humedad y preparar las muestras para la caracterización.	Horno Binder FD series 23-240 I
Extracción Soxhlet	Se realiza la extracción empleando inicialmente agua destilada y continuando con etanol.	Retirar impurezas presentes en las muestras, para hacer más eficiente la caracterización	Manta de calentamiento electromantle MA
Hidrolisis 1	Las muestras se exponen a una primera hidrólisis en ambiente acuoso con ácido sulfúrico al 72%, con una Temperatura de 30 °C durante 1 hora.	Variación de los polímeros de glucosa en azúcares sencillos	Cabina extractora de gases y humos C4 MEX120
Hidrolisis 2	En la segunda hidrolisis se baja la concentración de ácido sulfúrico al 4%, se colocan las muestras en el autoclave a una	Variación de los polímeros de glucosa en azúcares sencillos	Autoclave: 25X-1 all american

FASE	PROCEDIMIENTO	FUNCIÓN	EQUIPO UTILIZADO
	temperatura de 121 °C durante 1 hora.		
Filtración	Se filtran las muestras al vacío y se lavan con 250 ml de agua destilada. Se recogen dos muestras del líquido filtrado para realizar cromatografía y neutralización.	Disociar el Sólido del líquido brindando un área de filtración menor para recoger mejor la muestra.	Bomba: ROCKER 400 power AC 100-120 v
Neutralización	Se neutraliza con carbonato de calcio para que suceda la reacción con el ácido y disminuya el PH en un rango de 4-6.	Determinar el PH de cada muestra, éste debe mantenerse entre 4 y 6 para prevenir pérdidas de azúcares.	-----
Centrifugación	Se centrifuga la muestra neutralizada a 3000 rpm durante 5 minutos.	Separar la mezcla en dos fases, con el fin de obtener una fase liviana para realizar cromatografía.	Centrifuga Hettich Universal 320 / 320
Espectrofotometría	Determinar la absorbancia a 240 nm en el espectro UV-visible	Medir el porcentaje de lignina presente en la biomasa	Espectroscopio: spectroquant pharo 300 MERCK
Cromatografía	Se prepara una fase	Determinar la	1. prominencia

FASE	PROCEDIMIENTO	FUNCIÓN	EQUIPO UTILIZADO
Líquida de alta presión HPLC	móvil con una concentración de 5 µL de ácido sulfúrico y se prepara el equipo para su uso. El equipo consta de un desgasificador (1), una bomba de alta presión (2), un inyector (3), un detector (4) y un registrador (5).	cantidad de compuestos presentes en las muestras.	degasse DGU-20A3. 2. Prominence liquid chromatograph UTLC Shimadzu LC20AD. 3. prominence autosampler shimadzu. SIL-20A HT 4. refractive index detector: RID-10 ^a 5. priminence column oven: CTO-20AC