

Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES COMO
BIOCOMBUSTIBLE Y BIOREFINERÍAUTILIZATION OF AGROINDUSTRIALES
RESIDUES AS BIOFUELS AND BIOREFINERYUTILISATION DES RESIDUS
AGRO-INDUSTRIELS COMME LES
BIOCARBURANTS ET BIORAFFINERIEDeyanira Muñoz-Muñoz¹, Alvaro Javier Pantoja-Matta², Milton Fernando Cuatin-Guarín³

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos generados en procesos agroindustriales, es de interés en el ámbito mundial. En la actualidad se investiga en biomasa lignocelulósica para obtener energía, combustibles, biomateriales y productos químicos, mediante tecnologías limpias y sistemas cerrados que permitan conservar el medio ambiente. En esta investigación, a partir de características de residuos agroindustriales típicos del Departamento del Cauca, bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y sus mezclas, se evaluó el aprovechamiento como biorefinería. Se determinaron las propiedades térmicas, físicas químicas y morfológicas en siete muestras de residuos, se realizaron ensayos exploratorios de pre-tratamientos y posibles usos. Se concluye que la muestra M6 con el 9,93% de humedad, 4,12% de ceniza, 43,97% de carbono, 5,86% de hidrogeno, 0,43% nitrógeno, poder calorífico inferior de 15MJ/kg y con 22,25% de celulosa, 9,30% de hemicelulosa y 4,56% de lignina, presenta características apropiadas para ser utilizada en hornos y calderas de menor potencia para el sector rural por la cantidad de ceniza, la cual mantiene estable el poder calorífico inferior y reduce la emisión

Recibido para evaluación: 13 noviembre de 2013. **Aprobado para publicación:** 25 mayo de 2014

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Msc en Ingeniería énfasis ingeniería Sanitaria y Ambiental. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.

Correspondencia: demunoz@unicauca.edu.co.

de material particulado. Por las características térmicas, físicas, químicas y morfológicas, todas las muestras de M1 a M7, pueden ser hidrolizadas, densificadas y aprovechadas como biocombustible y/o biorefinería.

ABSTRACT

The use of residues generated in the process agro-industrials are interest worldwide. At present, research is this in lignocellulosic biomass for energy, fuels, chemicals and biomaterials through clean technologies and closed systems that conserve the environment. In this research, based on the characteristics of the typical agro-industrial residues of Cauca Department, sugarcane bagasse, sisal dust, cassava bran and the mixtures, was evaluated use as biorefinery. Were determined the thermal, physical chemical and morphologic properties in seven samples of residues, were performed exploratory tests, were determined pretreatments and applications and the possible use were identified. We conclude that the sample M6 with 9,93 % moisture, 4,12% ash, 43,97% carbon, 5,86% hydrogen, 0,43% nitrogen, 15 MJ/kg of lower heating value and 22,25% of cellulose, 9,30% of hemicellulose and 4,56% lignin, presents characteristics appropriate to be used in furnaces and boilers less power for the rural sector by the amount of ash, which keeps the low heating power stable and reduces the emission of particulate matter. For the thermal, physical, chemical and morphological characteristics, all the samples of M1 to M7, they can be hydrolyzed, densified and taken advantage like biofuel and / or biorefinery

PALABRAS CLAVES:

Propiedades, Bioenergía, Biomasa.

KEY WORDS:

Properties, Bioenergy, Biomass.

PALAVRAS-CHAVE:

Propriedades, Bioénergia, Biomassa.

RESUMO

A utilização de resíduos gerados no processo agro-industriais são o interesse mundial. Actualmente, a investigação é esta em biomassa lignocelulósica para a energia, combustíveis, produtos químicos e biomateriais através de tecnologias limpas e sistemas fechados que conservam o meio ambiente. Nesta pesquisa, com base nas características dos resíduos típicos agro-industriais de Departamento de Cauca, bagaço de cana, pó de sisal, farelo de mandioca e das misturas, foi avaliado o uso como biorrefinaria. Foram determinadas as propriedades químicas, físicas e morfológicas térmicas em sete amostras de resíduos, foram realizados testes exploratórios, foram determinados pré-tratamentos e aplicações e foram identificados o uso possível. Conclui-se que a amostra de M6 com 9,93% de humidade, 4,12% de cinzas, 43,97% de carbono, 5,86% de hidrogénio, 0,43% de azoto, 15 MJ/kg de poder calorífico inferior e 22,25% de celulose, 9,30% de hemicelulose e lignina 4,56%, apresenta as características adequadas para ser utilizado em fornos e caldeiras de menos energia para o sector agrícola por a quantidade de cinzas, o que mantém a potência de aquecimento de baixa estabilidade e reduz a emissão de partículas em suspensão. Para as características térmicas, físicas, químicas e morfológicas, todas as amostras de M1 a M7, que pode ser hidrolisado, densificada e aproveitado como biocombustíveis e / ou biorrefinaria.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial existe interés por la conservación del medio ambiente, los recursos renovables y no renovables, y el aprovechamiento de residuos generados en los procesos agroindustriales. Los residuos de tipo lignocelulósicos ricos en polímeros de celulosa y hemicelulosa alrededor del 75-80%, se pueden degradar por procesos químicos, físicos y/o biológicos para obtener azúcares y la posterior conversión a un biocombustible [1,2,3].

Investigaciones en biomasa, plantean que materiales lignocelulósicos tienen usos en la producción animal y consumo humano. El polisacárido xylan presente en la hemicelulosa es usado en el desarrollo de tecnologías para la producción de alcohol, xilosa, xilitol y xilo-oligosacáridos. Este último por contener fibras dietéticas con actividad prebiótica, favorece funciones inmune, antimicrobial y otros beneficios a la salud [4,5].

Los esfuerzos se enfocan en el desarrollo de tecnologías que empleen residuos agroindustriales como fuente renovable en la fabricación de alimentos y biocombustibles, de acuerdo a sus características, que generalmente se definen mediante los análisis elemental e inmediato. En biomasa, el análisis elemental reporta valores típicos del 50% en carbono, 5,5% en hidrógeno, valores menores al 1% en nitrógeno, 40% en oxígeno y valores despreciables en azufre [6,7,8,9,10].

En el análisis inmediato, los valores típicos de las cenizas o residuos sólidos no quemados varían entre 2 y 5%, cuando es superior al 15% incide negativamente en el rendimiento energético debido a que no es posible el aprovechamiento de la energía útil y genera problemas de sinterización. Los valores de la humedad libre superficial y la retenida en los poros de la biomasa, están alrededor del 8% al 50% y para la materia volátil, el valor es mayor al 65% [6,10].

El poder calorífico es la cantidad de calor liberado durante la combustión por unidad de masa, a presión constante y a 25°C. Según el estado de los productos: El Poder Calorífico Superior (P.C.S.) incluye el calor latente, mientras el Poder Calorífico Inferior (P.C.I.), no lo considera. La biomasa tiene un poder calorífico 50% menor que el resto de los combustibles, excepto al carbón [6,10].

En los materiales fibrosos las propiedades energéticas, la estructura física, composición química y morfológica varían según la planta y el cultivo, éstas

permanecen homogéneas en la mayoría de los residuos y conservan las características originales de los materiales de origen.

Es de interés conocer la composición del residuo para la adecuada selección de la tecnología y el aprovechamiento. Por lo tanto la característica típica de cada material lignocelulósico, indica cual debe ser la aplicación más adecuada ya sea como textiles, empaques, extracción de esteroides, pulpa de papel, material de construcción, abonos y alimentos [8,9,11, 13,14].

El tamaño de partícula, es una de las características físicas de la biomasa, de mayor relevancia, cuando se va a someter a posteriores tratamientos. En la etapa de pre-tratamiento (molienda) del residuo para obtener bioetanol, la reducción del tamaño de partícula, disminuye el tiempo de digestión de la biomasa entre el 23-59% [1]. En bagazo molido las investigaciones reportan para una cantidad de 12,43% un tamaño de partícula alrededor de 0,387 mm, que influye significativamente en el tiempo de degradación de la fibra [13,14].

Las propiedades químicas de un material lignocelulósico generalmente se divide en tres componentes principales: 30 a 50% de celulosa, 15 a 35% de hemicelulosa, 10 a 20% de lignina. La celulosa y hemicelulosa corresponden aproximadamente al 70% del total de la biomasa [15,16,17]. La composición química que las investigaciones reportan para bagazo son: celulosa (45%-47%), hemicelulosa (27%-28%), lignina (22%-23%), cenizas de 2,3% y otros constituyentes solubles e insolubles de 0,8% [17,18].

Tallos de yuca antes y después de un pre-tratamiento alcalino muestran que los porcentajes de los componentes en material pre-tratado se incrementan de 38,4% a 56,5% en celulosa, de 7,2% a 12,6% en hemicelulosa y de 11,8% a 12,2% en lignina [19]. Las propiedades morfológicas proporcionan información sobre los cambios físicos que ocurren durante los procesos de pre-tratamientos de un material [20].

El aprovechamiento térmico de la biomasa, es posible en el ámbito mundial [21, 22], por ejemplo en Europa, las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente son las más comunes en el sector de la biomasa [23, 24].

Las tecnologías de pre-tratamiento producen cambios físicos y/o químicos en la biomasa con el propósito de romper el recubrimiento de lignina, solubilizar la

hemicelulosa y alterar la estructura cristalina de la celulosa [25]. Las alternativas para transformar biomasa lignocelulósica son: combustión, gasificación, síntesis y pirolisis, hidrólisis fermentación, separación del producto y tratamiento de los efluentes [25].

La biorefinería es una instalación industrial que procura el uso integral de la biomasa de forma sostenible para la producción de biocombustibles, energía, materiales y productos químicos con valor agregado [26,27]. Considerando que es política nacional conocer el potencial energético de los residuos de los sectores regionales [4, 8], el propósito de este trabajo es evaluar, a partir de las características de los residuos agroindustriales bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y mezclas provenientes del departamento del Cauca, el aprovechamiento como biocombustible y biorefinería.

MÉTODO

Fuente de biomasa

Las muestras de biomasa residual utilizadas corresponden a la generada en el proceso de transformación de la fibra de los cultivos de caña de azúcar, fique y yuca. En el caso de caña de azúcar, se utilizó el bagacillo generado de la etapa de molienda de caña y de filtrado, proveniente del ingenio Río-paila Castilla S.A. En el caso del fique, el polvillo generado en el proceso de transformación de la fibra a productos, de la empresa Empaques del Cauca y para el caso de la yuca, el afrecho de yuca generado en la obtención del almidón de la Rayandería La nueva Zelandia.

Preparación de muestras para ensayos de caracterización

En la adecuación de los tres residuos agroindustriales, bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca, se aplicaron operaciones de: secado a 70°C hasta peso constante en deshumidificador Binder, reducción de tamaño con un molino de martillos Penagos, y tamizado. Se estableció como óptimo un tamaño inferior al tamiz N°. 40, considerando que el tamaño de partícula es un factor importante que incide sobre la modificación del componente lignocelulósico de cada residuo.

Se utilizó la técnica de muestreo para formar siete muestras (cuadro1), considerando los tres tipos de residuos: bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y mezclas de ellos en distintas proporciones.

Cuadro 1. Composición de muestras.

Muestra	Bagacillo de Caña	Polvillo de Fique	Afrecho de Yuca
M1	100%	-	-
M2	-	100%	-
M3	-	-	100%
M4	33,33%	33,33%	33,33%
M5	10%	45%	45%
M6	10%	30%	60%
M7	10%	60%	30%

El procedimiento de muestreo fue: se formó una pila, se dividió en tres partes: 1/3 (parte cónica), 2/3 (parte central) y 3/3 (base), de cada parte se tomó una cantidad de muestra en cuatro puntos alrededor de pila y otra en el centro y se formaron incrementos por parte. Luego éstos se extendieron formando un cuadrado y de cada parte se tomó una cantidad repitiendo el procedimiento hasta obtener un peso de 1 kg de muestra.

Determinación de las características de la biomasa

Se determinaron las características térmicas, físicas y químicas y morfológicas de los residuos de estudio: siete (7) mezclas formadas por biomasa residual. Los ensayos se realizaron con los protocolos de los laboratorios de combustibles y combustión de la Universidad del Valle, laboratorio de forrajes del CIAT y laboratorio de operaciones unitarias, laboratorio de microscopía óptica y análisis industriales de la Universidad del Cauca.

Se determinaron propiedades específicas relacionadas a los procesos de combustión y generación de energía: el porcentaje de humedad, cenizas carbono, hidrogeno, nitrógeno, poder calorífico superior e inferior mediante los análisis elemental y proximal. Se aplicaron los procedimientos de la norma ASTM D-7582, ASTM D-5373, ASTM D-5865 y ASTM D-6054. y se analizó la participación de éstas características en la generación de energía térmica.

Se realizó el análisis granulométrico a muestras de bagacillo de caña (M1), polvillo de fique (M2) y afrecho de yuca (M3), tal como provenían del sitio de generación y después de un proceso de molienda. El procedimiento usado fue el establecido por la guía No. 4: "Reducción de Tamaño y Tamizado" del laboratorio de Operaciones Unitarias I. Se usó un juego de tamices ASTM (10,16,20,30,40,50,60 y 70), Ro-tap, balanza electrónica y molino de martillos.

Las cantidades de celulosa, hemicelulosa y lignina en cada una de las muestras sin y con pre-tratamiento (autoclave ó autoclave más bisulfito de sodio), se cuantificaron con el método Van Soest, mediante el análisis de fibra detergente neutro (%FDN), fibra detergente ácido (%FDA) y % lignina. Se compararon las composiciones de los materiales lignocelulósicos del estudio y se identificaron posibles aplicaciones.

La caracterización morfológica se realizó, con la técnica de tinciones para células vegetales. Se tomaron a las muestras sin y con pre-tratamiento micrografías 10X y 40X, con el microscopio óptico de alta resolución. Se analizó si la pared celular sufrió alguna modificación, como apertura de la pared celular, deslignificación, exposición de celulosa y hemicelulosa

Aprovechamiento de los residuos agroindustriales

Se evaluó el potencial de aprovechamiento con un enfoque hacia la producción de biocombustible de segunda generación, generación térmica y biorefinería.

En la generación térmica, se evaluó su potencial como combustible sólido (briqueta combustible) y combustible gaseoso (gasificación de biomasa), para generación de vapor y potencia en los ingenios, en calderas, hornos en industrias de menor tecnología y en motores de combustión interna.

En la producción de biocombustible, la muestra adecuada se sometió a pre-tratamiento (inyección de vapor), hidrólisis enzimática, fermentación alcohólica y destilación del filtrado de la fermentación, adaptando procedimientos de otros investigadores. Del filtrado por duplicado de la muestra M2, se realizó análisis de cromatografía de gases con detección de masas en la Unidad de Análisis Industriales de la Universidad del Cauca.

Como biorefinería, se analizaron posibles aplicaciones, para el sector industrial, agroindustrial, alimentario y ambiental considerando los residuos estudiados como fuente de biomasa para la producción de biocombustibles, energía, materiales y productos químicos con valor agregado.

Se consideraron los avances tecnológicos en el ámbito mundial, respecto a materiales, procesos, operaciones unitarias y productos, las alternativas tecnológicas como digestión anaerobia, gasificación/pirólisis, gasificación/fermentación, la generación de empleo, los recursos naturales y los residuos agroin-

dustriales del Departamento del Cauca para proponer una biorefinería.

RESULTADOS

Evaluación conjunta de características y aprovechamiento de los residuos del Cauca

Los valores de las propiedades térmicas, físicas, químicas y morfológicas de los residuos del estudio: bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca y mezclas, (cuadro 2), indican que las muestras evaluadas con más ventajas para ser usadas en la elaboración de un biocombustible y en una biorefinería son M1, M2 y M6.

La muestra M1, bagacillo de caña sin mezclar, es la biomasa con el mayor contenido de %C y es comparable al polvillo de fique (M2) y afrecho de yuca (M3). Este valor está en el rango mundial y nacional y es superior a los residuos agrícolas de cultivos (RAC).

El %H en el polvillo de fique sin mezclar y en una mezcla M6 (con el 30%), es más alto respecto a las otras muestras estudiadas, con un valor de 61% mayor al del carbón vegetal.

La mezcla M6 (10% bagacillo de caña, 30% polvillo de fique y 60% afrecho de yuca), presenta el mayor contenido de agua (9,93%), por lo cual en un proceso de combustión consumirá mayor cantidad energía para iniciar el proceso de quema o en la adecuación antes de entrar a la caldera, horno y cámara de combustión.

Además M6, presenta mayor ahorro energético comparado con la cascarilla de café y los RAC. Las muestras M2 y M7 pueden aportar mayor contenido de cenizas en un proceso de combustión. El poder calorífico inferior de todos los residuos están dentro del rango nacional y cerca al rango mundial.

Las muestras sometidas a molienda, con Diámetro de partícula de corte (D_p) ubicadas en los tamices 30 para M1, M3 y 40 para M2, tienen una cantidad y un tamaño de partícula finas apropiado para iniciar el pre-tratamiento químico, enzimático y la hidrólisis enzimática. En M2 se espera obtener rendimientos teóricos en la hidrólisis alrededor del 90%, tal como lo han planteado otras investigaciones.

En el caso de M1: bagacillo de caña, por las características se le puede dar aprovechamiento térmico (cuadro

Cuadro 2. Evaluación conjunta de características de residuos agroindustriales.

Características	Residuos y Mezclas	Valoración
Térmicas	M1, M2,M3	Alto % carbono (45,92%,44,61%,43,44%)
	M2, M7	Alto % ceniza (8,37%, 7,02%)
	M2, M6	Alto % hidrógeno (5,95%, 5,86%)
	M6	Altos contenidos de carbono (43,97%), hidrogeno (5,86%) y materia volátil, menor cantidad de ceniza (4,12%), PCI (15,04 MJ/kg)
	Todos los residuos	PCI, en el rango nacional (16 a 20 MJ/kg) y próximo al mundial (8,00 a 20 MJ/kg)
Físicas	M1, M2,M3 sin molienda	Tienen materiales de gran tamaño, afectan el % peso retenido por cada tamiz
	M3	Tiene mayor densidad aparente, las partículas medianas y grandes son desintegradas eficientemente en el tamiz inicial
	M1, M2	Altos volúmenes con pesos bajos
	M2 sin molienda	En el tamiz 40 tienen mayor porcentaje de peso retenido (7,25%), cantidad (83,17%) y tamaño de partícula finas apropiado(0,0165 mm)
	M1, M3 con molienda	En el tamiz 40, tienen mayor porcentaje de peso retenido (47,8%) cantidad (23,9%) y tamaño de partícula finas apropiado(0,0165 mm)
Químicas	M2	Altos contenidos de grasa (10,39%), proteína (2,1 mL)
	M3	Un alto porcentaje de materia seca, hay incremento de grasa
	M1 sin y con pre-tratamiento	El mayor contenido de celulosa (42%, 46,28%)
	M3, M4	Alto contenido de hemicelulosa
	M2, M4 sin y con pre-tratamiento	La mayor cantidad de lignina (14,86%,19,82%) La menor cantidad de lignina (6,42%,6,36%)
	M1, M2, M4, M7	Factibilidad de aplicar pretratamientos térmicos, químicos y fisicoquímicos
	M6 sin pre-tratamiento	Altos contenidos de celulosa (22,25%), hemicelulosa (9,3), Bajo contenido de lignina (4,65%)
Morfológicas	Todos los residuos M1 a M7	Ataque solo superficial, no se rompen los enlaces de la estructura, se conserva la formación celulosa, hemicelulosa y lignina, requieren de tratamiento mucho más agresivo
	M3	Partículas redondas y aglomeración de partículas pequeñas y finas
	M1 con y sin pretratamiento	Porosidad, con fragmentos de corteza y similitud entre las estructuras

3), como biocombustible o biorefinería. Mientras para M2: polvillo de fique, por presentar mayor porcentaje de peso retenido en el tamiz 40, mayor cantidad de partículas finas, alto contenido de constituyentes químicos, de celulosa, proteína y grados Brix, el uso debe ser enfocado a biocombustible y biorefinería.

En la muestra M2, es recomendable aplicar pre-tratamiento químico, para lograr mayor exposición de celulosa y hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la

estructura celular, aumentar la porosidad y el área de contacto para facilitar otros procesos hidrólisis y fermentación.

La mezcla M6: 10% bagacillo de caña, 30% polvillo de fique y 60% afrecho de yuca, por tener altos contenidos de carbono (39,6%, 43,97%) e hidrogeno (5,28%, 5,86%), la materia volátil es muy alta. Entonces esta mezcla se puede quemar en hornos domésticos y en calderas de menor potencia para sector rural, mante-

Cuadro 3. Aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Aprovechamiento		Usos
Térmico	M6	Densificación de biomasa para el uso en hornos domésticos y en calderas , combustible sólido
	M1 a M7	producto energético: electricidad y calor
	M1,M3, M6	Gasificación, gas de síntesis, producto energético: biometano
Biocombustible	M1, M2	Biocombustible, bioetanol, bio-H2, etanol
	M1, M3	Biometano
	M2, M4	Biodiesel
Biorefinería	M2	Farmacéutico, alimentario, agroindustrial, Cosmetológicos.orellanas, alimentación de rumiantes, abono orgánico, lombricultura, materiales compuestos
	M3, M7	En harinas, glucosa
	M1	Glucosa, ácidos orgánicos, químicos y polímeros, alimentos, concentrados para animales
	M1, M3	Fertilizantes
	M4, M6	Fabricación de pellets,
	M2, M4	Lignina, glicerina
M1: 100% bagacillo de caña; M2 : 100%Polvillo de fique; M3: 100% afrecho de yuca; M4: 33% M1 +33%M2 +33%M3; M5: 10% M1 +45%M2 +45%M3; M6: 10% M1 +30%M2 +60%M3;M7: 10% M1 +60%M2 +30%M3		

niendo por mayor tiempo la duración del combustible con la menor generación de ceniza (4,12%, 4,57%), respecto a cualquier mezcla de los residuos de estudio.

Comparando las características con las muestras del estudio, se tiene que M3: 100%afrecho de yuca y M6: 10% bagacillo de caña, 30% polvillo de fique y 60% afrecho de yuca, tienen posibilidades para ser gasificadas, por sus propiedades similares a la madera de algarrobo [9]. El polvillo de fique, pretratado con inyección de vapor, hidrolizado con la enzima Alternafull, fermentado y destilado, es rico en el componente etanol (95% en promedio), con un rendimiento estimado de 1mL de etanol por 1,66 g de polvillo de fique. Por lo tanto el polvillo de fique, representa una fuente no convencional de energía apta, para iniciar el desarrollo de las energías renovables en el Departamento del Cauca.

Propuesta de aprovechamiento de residuos agroindustriales

La biorefinería planteada para aprovechar los residuos agroindustriales de la región del Cauca, como el bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y las mezclas, (figura 1), involucra en los procesos mecánicos y físicos, la separación, pre-tratamientos, destilación y peletización; en los químicos, las reacciones

químicas, metanización, hidrólisis e hidrogenación; en el bioquímico, la fermentación; en los termoquímicos, la gasificación, pirólisis y combustión.

CONCLUSIONES

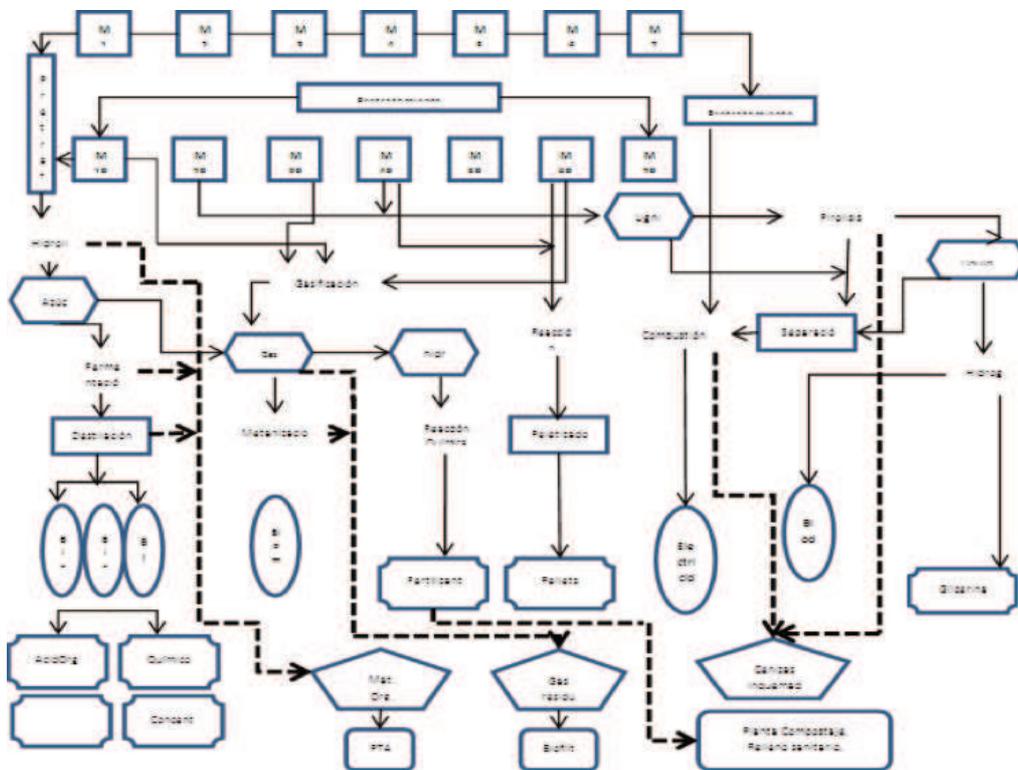
Por las características térmicas, físicas, químicas y morfológicas, todas las muestras M1 a M7, tienen posibilidad de ser hidrolizadas, M1, M2 y M3 densificadas y M1, M2 y M6 aprovecharse como biocombustible y/o biorefinería.

Todos los constituyentes de los residuos agroindustriales del estudio cumplen con los rangos de la biomasa residual del sector agrícola en el ámbito mundial y nacional.

Los valores de los constituyentes de la biomasa le otorgan características energéticas apropiadas para la producción de energía térmica a los procesos de combustión y a la generación de energía en forma controlada.

Del análisis comparativo del estudio se concluye que los residuos del Cauca, tienen propiedades térmicas muy similares a las biomásas lignocelulósicas reportadas por la literatura.

Figura 1. Biorefinería a partir de residuos Agroindustriales.



Según las características de físicas de M1, M2 y M3, la molienda como pre-tratamiento físico, es una etapa preliminar necesaria para continuar con el pre-tratamiento químico, enzimático y la hidrólisis enzimática.

Debido a que todas las muestras después de la molienda se ubican en los tamices 30 para M1, M3 y 40 para M2, éstas generan una cantidad y un tamaño de partícula finas apropiado para iniciar cualquier tipo de proceso.

Los residuos, donde se aplicaron ensayos preliminares de pre-tratamientos térmicos, químicos y fisicoquímicos, muestran en general incrementos de celulosa y hemicelulosa y disminución de lignina.

Del estudio se concluye, tal como lo recomienda otros investigadores, aplicar pre-tratamientos químicos en biomasa lignocelulósica, con contenidos de lignina máximo del 18% y fisicoquímicos máximo 15%.

La muestra 10% bagacillo de caña+60% polvillo de fique+30%afrecho de yuca, presenta el 65% de reducción de lignina, indicando que es la mejor mezcla con características adecuadas para obtener buenos resultados en la obtención de glucosa.

El residuo de afrecho de yuca sin pre-tratamiento, presenta bajo contenido de lignina, de celulosa y hemicelulosa, que puede afectar el rendimiento de glucosa, sin embargo la presencia de almidones, puede compensar este efecto, el cual puede confirmarse en investigaciones futuras, donde se evalúen el efecto de la deslignificación y la hidrólisis enzimática en la obtención de glucosa.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación: Diseños, Procesos y Energía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, por ensayos de caracterización.

REFERENCIAS

[1] GUARNIZO, F.A., MARTINEZ, Y.P.N. y PINZON, B.M.L. Azúcares del pseudotallo de plátano: una opción para la obtención de alcohol de segunda generación. Revista Bistua, 10(1), 2012, p.39-51.

- [2] JUÁREZ-BARRIENTOS, J.M., RAMÍREZ-RIVERA, E.J., RAMÍREZ-FIGUEROA, E., RAMÓN-CANUL, L.G. y RODRIGUEZ-MIRANDA, J. Aplicación y comparación de pre tratamientos totalmente libres de cloro en residuos de piña y zapote mamey para la obtención de carboximetilcelulosa. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 2011, p. 108-126.
- [3] REQUEJO, A., RODRIGUEZ, A., COLODETTE, J.L. and JIMENEZ, L. TCF bleaching sequence in kraft-pulping of olive tree pruning residues. *Bioresource Technology*, 2012, 4(84), p. 117-123.
- [4] CARVALHO, A.F., NETO, P., FERNANDES, D. and PASTORE, G.M. Xylo-oligosaccharides from lignocellulosic materials: Chemical structure, health benefits and production by chemical and enzymatic hydrolysis. *Food Research International*, 51, 2013, p. 75-85.
- [5] ARGENTINA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. Relevamiento de proyectos bioenergéticos. Buenos Aires (Argentina): 2012, 6 p.
- [6] ENERGÍA TÉRMICA CON BIOMASA. Generación de energía térmica con biomasa: equipos e instalaciones [online] .sf. Disponible http://www.fototermic.com/Pdf/Biomassa/Generacion_de_energia_termica_con_biomasa_SODEAN.pdf [citado 3 de marzo de 2013] .
- [7] ORTIZ, D.C., SABOGAL, J. y HURTADO, E. Una revisión a la Reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 22(2), 2012, p. 55-67.
- [8] TECNOLOGÍAS PREVENTIVAS. Cálculos y Convenios UIS- IDEAM [online] .sf. Disponible: http://www.tecnologiaslimpias-.org/html/central/311801/311801_alt.htm. [citado 21 de marzo de 2013] .
- [9] CABRERA, C.G., MADRIÑAN, M.S. y MUÑOZ, M.D. Caracterización del gas de síntesis obtenido a partir de algarrobo y bagazo de caña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 2012, p. 166-172.
- [10] EUROPA. PRESS/JAEN. La provincia de Jaén lidera el consumo de biomasa para usos térmicos en la comunidad [online] . 2012. Disponible: <http://www.ideal.es/jaen/20120815/local/jaen/provincia-jaen-lidera-consumo-2012081-511-57.html> [citado 25 de febrero de 2013] .
- [11] VALDÉS, A. Impactos utilización los residuos agrícolas de la cosecha cañera (RAC) como biocombustible. Cali (Colombia): Memoria del Seminario Internacional Residuos para biocombustibles y biorefinerías, 2011.
- [12] LÓPEZ, U.Y. y ZAPATA, H.J. Energías renovables en Colombia. Cali (Colombia): Memoria del Seminario Internacional Residuos para biocombustibles y biorefinerías, 2011.
- [13] ALVARES, A., SALGADO, R., GARCIA, E., y DOMINGUEZ, M.M. Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13(4), 2012, p. 140-150.
- [14] LIMAYEM, A. and RICKE, S.C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, (38), 2012, p. 449-467.
- [15] WEITZ, D.A. y FELDMAN, S.R. Energías renovables para desarrollo sostenible: Producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica en ambiente rural. *Revista Virtual Pro*, 122(3), 2012.
- [16] DOHERTY, W.O.S., MOUSAVIOUN, P. and FELLOWS, C.M. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, (33), 2011, p. 259-276.
- [17] SALCEDO, J. Hidrólisis enzimática de residuos de la cosecha de la caña de azúcar (hoja y cogollos) para la producción de etanol [Tesis Ph.D. en Ingeniería Química] . Cali (Colombia): Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Química, 2011, 28 p.
- [18] GANDOLFI, S., OTTOLINA, G., RIVA, S., and PEDROCCHI, G. Complete chemical analysis of carmagno hemp hurd and structural features of its components. *BioResources*, 8(842), 2013, p. 2641-2656.
- [19] ASTAÑO, H., ZAPATA, J. y REALES, J. Producción de etanol de segunda generación a partir del cultivo de yuca. *roducción más Limpia*, 7(1), 2012, p. 88-100.
- [20] DE MORAES, G.J., MARTIN, C., BARBOSA, I., SOUTO, A.M., MACEDO, H. and MORAES, C.A. Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, (35), 2011, p. 663-670.
- [21] USOS DE LA BIOMASA. Energía térmica con renovables [online].sf. Disponible: <http://www.agenbur.com/-es/contenido/index.asp?iddoc=410> [citado 20 de junio de 2013].
- [22] AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGIA. CONSEJERIA DE ECONOMIA. Innovación, ciencia y empleo. [online].sf. Disponible: <http://www.agenciaandaluzade-laenergia.es/empresas/ener>

- gia-termica con reno-vables [citado 20 de junio de 2013] .
- [23] CERDÁ, E. Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos Económicos del ICE, 2012, p. 117-124.
 - [24] COMUNIDAD DE MADRID. Jornada sobre biomasa para usos térmicos [online] . 2011. Disponible: [http://www.fe-nercom.com/pdf/formacion/Jornadas-sobre biomasa-para-usos-térmicos-fenercom_2011.pdf](http://www.fe-nercom.com/pdf/formacion/Jornadas-sobre_biomasa-para-usos-térmicos-fenercom_2011.pdf) [citado 25 de junio de 2013].
 - [25] ALMENARES, J.F. y SERRAT, D.M. Aspectos tecnológicos generales para la conversión a etanol de la biomasa lignocelulósica II. Tecnología Química, 31(3), 2011, p.45-56.
 - [26] GIRIO, F. Biorefinerías de biocombustibles. La importancia de la sostenibilidad. Cali (Colombia): Memoria del Seminario Internacional Residuos para biocombustibles y biorefinerías, 2011.
 - [27] PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (CYTED). Red Temática: La producción de biocombustibles y su impacto alimentario, energético y medio ambiental. Cali (Colombia): Memoria del Seminario Internacional Residuos para biocombustibles y biorefinerías, 2011.