

# Contenido

## Biomasa como alternativa energética

### *Ponencias*

ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA BIOREFINERÍA A PARTIR DE MICROALGA <i>Chlorella vulgaris</i> Beiger <i>Juan J. Jaramillo O., Ricardo A. Tolosa C. &amp; Carlos A. Cardona</i>	39
GASIFICACIÓN DE BIOMASA EN LECHO FIJO: EFECTO DEL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO, AIRE ENRIQUECIDO Y MEZCLAS ASTILLAS-ASERRÍN <i>Yuhan A. Lenis R. &amp; Juan F. Pérez B.</i>	39
EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA BIOREFINERÍA BASADA EN PALMA ACEITERA EN COLOMBIA <i>Jonathan Moncada, Luis E. Rincón &amp; Carlos A. Cardona</i>	40
POTENCIAL Y BENEFICIO SOCIO-AMBIENTAL DEL USO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA GENERADA EN PROYECTOS LINEALES <i>Jairo F. Niño L., Laura Urán C. &amp; Evelyn Herrera</i>	40
ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE <i>Eucalyptus</i> Y <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach. A TRAVÉS DE SISTEMAS TÉRMICOS AVANZADOS <i>Quelbis R. Quintero B., Vladimir R. Melián C. &amp; Electo E. Silva L.</i>	41
EVALUACIÓN TECNOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN (BIGCC) BASADOS EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COLOMBIANOS <i>Luis E. Rincón, Ángela González &amp; Carlos A. Cardona</i>	41

# ANÁLISIS INTEGRAL DE UNA BIOREFINERÍA A PARTIR DE MICROALGA *Chlorella vulgaris* Beiger

**Palabras clave:** biocombustibles, cogeneración, evaluación económica, impacto ambiental, metabolitos.

Juan J. Jaramillo O.<sup>1</sup>  
Ricardo A. Tolosa C.<sup>1\*</sup>  
Carlos A. Cardona<sup>1</sup>

Una biorefinería es una estructura capaz de aprovechar la biomasa para producir de manera sostenible combustibles, productos químicos y energía de forma análoga a cómo opera una refinería de petróleo. La capacidad fotosintética de las microalgas, les permite transformar el CO<sub>2</sub> en biomasa rica en aceites y azúcares reductores, convirtiéndolas en una materia prima multipropósito y sostenible como biorefinería para producción de metabolitos de alto valor agregado. En este trabajo se realizó una evaluación y análisis tecnológico, económico y de impacto ambiental de una biorefinería a partir de microalgas *Chlorella vulgaris*. Se empleó el software ASPEN PLUS<sub>v7.2</sub>, Aspen Economic Analyzer y WAR GUI para resolver los balances de materia y energía de los esquemas de proceso, la estimación de los costos de producción y el cálculo de gases de efecto invernadero (GHG) y potenciales de impacto ambiental. Se obtuvieron como productos de la biorefinería: biodiesel, glicerol grado USP, etanol y electricidad resultando un margen de ganancia total del 34%. El contexto de una biorefinería de microalgas es muy prometedor debido a la flexibilidad de producción de biomasa convertida en otros metabolitos de alto valor agregado la reducción del impacto ambiental mediante el uso y transformación de corrientes de gases de combustión industrial.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. \*ratolosac@unal.edu.co. *Expositor*

## GASIFICACIÓN DE BIOMASA EN LECHO FIJO: EFECTO DEL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO, AIRE ENRIQUECIDO Y MEZCLAS ASTILLAS-ASERRÍN

**Palabras clave:** aire enriquecido, porosidad.

Yuhan A. Lenis R.<sup>1\*</sup>  
Juan F. Pérez B.<sup>2</sup>

Se presenta un estudio experimental del proceso de gasificación en lecho fijo equicorriente (downdraft). Este proceso es considerado una alternativa con alto potencial para la generación de potencias medias-bajas (máx. 1000 kW). Se analizó la variación del proceso con diferentes factores de empaquetamiento utilizando como combustible madera de Jacaranda copaia (CH<sub>1.769</sub>O<sub>0.617</sub>N<sub>0.026</sub>S<sub>0.001</sub>, PCI<sub>bs</sub> = 1821.9 kJ kg<sup>-1</sup>), con diferentes geometrías; y mezclas astillas-aserrín. También se utilizaron aire y aire enriquecido con oxígeno como agentes gasificantes del proceso. Como parámetros de caracterización del proceso se consideraron la composición del gas producido, la velocidad del frente de llama, la relación combustible/aire (dosado) y el rendimiento en frío. De los principales resultados se destaca la disminución de la velocidad del frente de llama en un 40% con el aumento del empaquetamiento de la biomasa de 0.4 a 0.55, debido a la menor penetración de la radiación. Con el incremento de la concentración de oxígeno en el agente gasificante de 21 a 29%vol, la velocidad del frente de llama aumentó alrededor del 150%, resultados que se deben a las menores pérdidas de calor y la menor dilución del gas de gasificación con inertes (nitrógeno del aire). El uso de mezclas astillas-aserrín generó considerables pérdidas de combustible debido a la fluidización de las partículas de aserrín más pequeñas, lo que causó inestabilidades en el proceso con la consiguiente disminución del rendimiento. Se concluye que el proceso de gasificación alcanza los mejores rendimientos con menores empaquetamientos y con el uso de aire enriquecido. Adicionalmente, debido a las inestabilidades encontradas con el aserrín, se recomienda no superar el 30% de aserrín en mezclas con astillas, para aprovechamiento de aserrín de madera en lecho fijo.

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia. <sup>2</sup>Grupo de Manejo Eficiente de la Energía, Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia. juanpb@udea.edu.co  
\**Expositor*

## EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA BIOREFINERÍA BASADA EN PALMA ACEITERA EN COLOMBIA

**Palabras clave:** bioenergía, oleoquímica.

Jonathan Moncada<sup>1\*</sup>  
Luis E. Rincón<sup>1</sup>  
Carlos A. Cardona<sup>1</sup>

Se realizó la evaluación técnica, económica y ambiental para una biorefinería basada en palma aceitera en el contexto Colombiano. Se propuso una biorefinería para producción integrada de biodiesel, metanol, electricidad, glicerol grado farmacéutico y estearina como producto alimenticio. Se comparó dicha biorefinería con el uso convencional de la palma aceitera en Colombia para la producción de biodiesel, en términos del desempeño técnico, económico y ambiental. Se simularon los esquemas de producción en el software comercial Aspen Plus<sub>v7.1</sub>, en el que se generaron los balances de materia y energía, con los que se realizó el análisis de productividad, análisis energético, evaluación económica y evaluación de impacto ambiental para cada esquema. Al comparar cada configuración de proceso se observó que al tener un portafolio multiproducto integrado, los costos totales de producción disminuyen, así como el potencial de impacto ambiental. Esto se debe al completo aprovechamiento de la materia prima en el que los residuos generados en un proceso se integran en otro. De este modo se estableció que el margen de ganancia es del orden del 58% en una biorefinería integrada en contraste con un margen de ganancia del 25% cuando solo se produce biodiesel a partir de aceite palma. De igual manera el potencial de impacto ambiental disminuyó en 25% comparado con la producción convencional de biodiesel.

<sup>1</sup>Instituto de Biotecnología y Agroindustria. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. \*jmoncadab@unal.edu.co. *Expositor*

## POTENCIAL Y BENEFICIO SOCIO-AMBIENTAL DEL USO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA GENERADA EN PROYECTOS LINEALES

**Palabras clave:** balances de materia y energía, energía específica, eficiencia eléctrica, gasificación.

Jairo F. Niño L.<sup>1\*</sup>  
Laura Urán C.<sup>1</sup>  
Evelyn Herrera<sup>1</sup>

Se evaluó energéticamente a *Hura crepitans*, *Gynerium sagittatum*, *Pedilanthus tithymaloides*, especies vegetales que hacen parte de la biomasa lignocelulósica generada como residuos en el corredor de la línea de transmisión de energía de 500 KVA, entre los municipios del Carmen de Bolívar, San Jacinto y el Parque Santuario de Los Colorados (San Juan Nepomuceno, Bolívar). A partir de un balance de materia y energía se determinó la eficiencia energética de las tecnologías de gasificación, pirólisis, combustión y bioetanol, se cotejaron las pérdidas de materia y energía que se presentan en la cinética del compostaje de esta biomasa vegetal. Para esto se realizó una caracterización másica y energética de dichas biomásas. Partiendo de las condiciones de operación de las tecnologías, reacciones, composición de gases, eficiencias mecánicas y eléctricas, etc., referidas en otros artículos, se determinó que la energía específica (kWe/kg de biomasa) y la eficiencia eléctrica de *G. sagittatum* a partir de la gasificación (con recirculación de finos) es la mejor alternativa de aprovechamiento energético (0.74kWe/kg de producción de energía, correspondiente al 14% eficiencia eléctrica). Se realizó un análisis a través de una matriz por dimensiones del impacto ambiental y social, que se presenta en la construcción y mantenimiento de estos proyectos lineales. El mayor impacto ambiental se presenta en el área del Parque, donde aún se conservan especies arbóreas importantes para esta zona de vida (bs-T). La expansión del espacio artificial con la construcción de obras civiles, viviendas y el cambio drástico del uso del suelo, agotó la base de recursos naturales, afectando la calidad de vida de las comunidades locales. El predominio de suelos marginales permite la implementación de un sistema de bioenergía, en donde se establezca la biomasa de plantaciones energéticas, lo cual ayudará a su recuperación.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. \*jfninol@unal.edu.co. *Expositor*

# ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE *Eucalyptus* L'Hér. Y *Pennisetum purpureum* Schumach. A TRAVÉS DE SISTEMAS TÉRMICOS AVANZADOS

**Palabras clave:** células de combustibles, ciclo rankine, ORC.

Quelbis R. Quintero B.<sup>1\*</sup>  
Vladimir R. Melián C.<sup>2</sup>  
Electo E. Silva L.<sup>3</sup>

Se analizaron tres sistemas térmicos avanzados – gasificación – célula de combustible de óxido sólido (GSOFC), ciclo rankine orgánico (ORC) y ciclo rankine (CR) - para la producción de electricidad a partir de *Eucalyptus* y *Pennisetum purpureum*, en áreas no interconectadas. El análisis termodinámico se realizó con programas especializados Cycle Tempo y HYSYS, para una capacidad de generación de 1 MW cuyos costos de electricidad calculados oscilan entre 300-500 USD\$/MWh para GSOFC, 100-300 USD\$/MWh para ORC y 100- 200 USD\$/MWh para CR, con una tasa de descuento del capital del 18% en un escenario de 5 años y tasas interna de retorno oscilantes entre 12-16%, 18-24% y 20-26% respectivamente para cada sistema en estudio. Los costos de inversión en los equipos y la biomasa fueron los de mayor influencia en el costo final de generación del MWh, más sin embargo, estos pueden dejar de ser importantes ante los costos de inversión y mantenimiento a la inclusión del sistema interconectado Nacional. Otros aspectos determinantes en la selección de estas tecnologías son: lo ambiental, lo social y lo geopolítico; partiendo que son menos contaminantes y de menor impacto ambiental que las actuales formas de producción de electricidad, principalmente por la casi nula emisión de gases efecto invernadero, minimización del conflicto de usos de los suelos y fijación de carbono, diversificación de la producción y regulación del clima local a través de la producción de cultivos forestales.

<sup>1</sup>Universidad Federal de Itajubá-NEST. \*quelbisquintero@yahoo.com. Expositor

## EVALUACIÓN TECNOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN (BIGCC) BASADOS EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COLOMBIANOS

**Palabras clave:** bagazo de caña, cascarilla de arroz, generación electricidad, gasificación, torta de palma.

Luis E. Rincón<sup>1\*</sup>  
Ángela González<sup>2</sup>  
Carlos A. Cardona<sup>1</sup>

En la actualidad, la agroindustria colombiana es uno de los sectores con mayor expansión. Prueba de ello es cómo las industrias del azúcar, la panela, la caña de azúcar impulsan las economías regionales. Sin embargo, estas agro-industrias tienen una alta generación de residuos que deben ser manejados ambientalmente. Una alternativa importante es el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la generación de calor y electricidad, empleando sistemas de cogeneración alimentados por biomasa. Entre estos sistemas el BIGCC (*Biomass Fired Gasification Combined Cycle*), es uno de los sistemas aprovecha mejor la energía con mejor tasa de producción de electricidad y calor por unidad de biomasa alimentada. En este trabajo se realizó el diseño y simulación de sistemas BIGCC para el aprovechamiento de tres residuos agroindustriales típicos colombianos, tales como bagazo de caña (BC), cascarilla de arroz (CA), torta de palma aceitera (TP) usando el software Aspen Plus v 7.1. El sistema BIGCC mostró una eficiencia térmica del 90% y una eficiencia eléctrica del 43%, con un índice de ahorro de combustible del 46%, con un costo de producción 0.101 USD/MWh. La generación de electricidad fue 2.10 MWh/kg (BC), 2.15 MWh/kg (TP) y 1.72 MWh/kg (CA). Las emisiones generadas fueron 287 tCO<sub>2</sub>eq (BC), 247 tCO<sub>2</sub>eq (TP) y 375 tCO<sub>2</sub>eq (CA). Los resultados mostraron que para los sistemas BIGCC, dado su alto contenido de aceite, la torta de palma aceite retiene el mayor potencial como sistema de cogeneración entre los residuos considerados, dada sus mayor generación de energía con menores emisiones generadas.

<sup>1</sup>Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonas. \*lerinconp@unal.edu.co. Expositor