

POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR



ENERGETIC POTENTIAL OF AGROINDUSTRIAL RESIDUES FOR THER-
MAL ENERGY PRODUCTION OF THE DEPARTMENT CESAR

Fecha de Ingreso: 17 de Marzo/2014 -- **Fecha de Aceptación:** 1 de Abril/2014

LUIS QUINTERO LÓPEZ / Especialista en Gerencia de
Proyectos de Ingeniería. Ingeniero Agroindustrial
Docente de La Fundación Univ del Área Andina
lquintero34@areandina.edu.co
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANIDINA

LINA BUELVAS / Msc. en Ing. Adm; Ing Agroindustrial
Docente / lbuelvas5@areandina.edu.co
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA

OMAR FIGUEROA / Msc. en Ciencias Farmacéuticas, Ing.
Agroindustrial; Estudiante de Doc. en Ingeniería Ambiental
omfimo@gmail.com / UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

RESUMEN

Se determinó el potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales, con el fin evaluar la canasta de recursos que se pueden aprovechar en la generación de energía renovable y sostenible en el Departamento del Cesar, para así identificar los modos eficientes de aprovechamiento de los recursos y dar un uso sostenible a los residuos sólidos. Para esto se obtuvieron las áreas cultivadas (cultivos transitorios, y Permanentes) en el Departamento, se correlacionaron las hectáreas cultivadas con los rendimientos de los cultivos y la cantidad de residuo que generan; posteriormente, se determinó el potencial energético de los residuos agroindustriales y se realizaron mediciones de la condiciones de operación de los equipos utilizados para generar energía a partir de biomasa residual. Se estableció que se cuenta con un potencial recursos para uso energético de 350.413 Toneladas/año, y se estimó que se tiene a disposición alrededor de 600.000 toneladas de residuos sólidos que pueden ser utilizados para la producción de energía térmica, y se evidenció con los valores obtenidos que el departamento cuenta con la disposición de potencial energético de alrededor 5500 TJ/año.

PALABRAS CLAVES

Residuos Sólidos, Poder Calorífico, Potencial energético, Costo exergético.

SUMMARY

The energy potential of agro-industrial solid waste is determined, in order to evaluate the basket of resources that can be exploited in the generation of renewable energy and sustainable at Department of Cesar, so as to identify efficient ways of utilization of resources and to sustainable use of solid waste. For this cultivated areas were obtained (temporary crops and permanent) at the Department, hectares cultivated correlate with crop yields and the amount of waste they generate; subsequently it determines the energy potential of agro-industrial waste and measurements of operating conditions of the equipment used to generate energy from waste biomass were performed. It was established that has a potential resource for energy use of 350.413 Tons/year and it is estimated to have available about 600,000 tons of solid waste that can be used for the production of thermal energy, and with the values obtained showed that the department has the disposal of energy potential of about 5500 TJ / year.

KEYWORDS

Solid Waste, Heating Value, Energy potential, Exergy Cost.

INTRODUCCIÓN

La globalización y el crecimiento exponencial de los procesos industriales ha desencadenado un consumo acelerado de los recursos energéticos no renovables en el mundo, lo cual trae consigo un alto impacto ambiental y el encarecimiento de las materias primas energéticas tradicionales.

Para la Unión Europea, que tiene una fuerte dependencia energética, es sumamente importante aumentar progresivamente el grado de autoabastecimiento energético y solo será posible con la implantación progresiva de energías de futuro, sostenibles e inagotables, como las energías renovables. (IDAE, 2007)

La Agencia Internacional de la Energía, en su publicación "World Energy Outlook 2008" se hacía eco del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) exponiendo 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. El problema de este uso de la biomasa, en ocasiones de supervivencia, es su falta de desarrollo tecnológico y de eficiencia energética, situándose fuera de una planificación sostenible de su aprovechamiento, lo que conlleva la deforestación de grandes áreas con su consecuente grave impacto ambiental asociado (IDAE, 2007). Además existe otro tipo de biomasa que proveniente de los procesos agrícolas que se han convertido en un problema, ya que se generan en grandes cantidades y son quemados indiscriminadamente, generando contaminación y desaprovechando el potencial que contienen.

En Colombia los residuos agroindustriales de mayor potencial son los de la palma de

aceite, caña de azúcar, café, maíz, arroz y plátano, de acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética UPME (Escalante et. al. 2010); a pesar de esto, el uso de los recursos energéticos ha sido deficiente. El departamento del Cesar, el cual se encuentra ubicado al norte de Colombia, es una región de tradición agrícola. Para el 2006 el departamento del Cesar produjo 130.000 Ton de residuos de palma africana, las cuales contenían un potencial energético de 2028 Tj, lo cual es equivalente al potencial de 69202 Ton de carbón (Santos, 2007.). En esta región de Colombia se presenta un uso de los residuos sólidos agroindustriales del 20% y una eficiencia energética del 15% en el uso de estos (UPME, 2010). Por otro lado, las poblaciones aledañas a estas plantas de procesamiento que residen en un ambiente de contaminación debido a la quema indiscriminada de estos residuos y el uso de combustibles fósiles que generan gases efecto invernadero.

La exergía de un universo dado (sistema con sus alrededores), en un estado definido, como el trabajo útil mínimo necesario para conseguir ese estado a partir de uno de referencia. La exergía es el máximo trabajo útil que podemos obtener de un flujo de energía dado, en cualquiera de sus formas que sea almacenado o transferido; pero también lo podemos ver como la mínima energía necesaria que se requiera para obtener un producto final. (Lezcano, 2011)

Se han desarrollado investigaciones en profundidad especialmente en Europa, respecto a evaluaciones de potenciales de biomasa residual como Romero et al (2010) que concluye que la biomasa es un recurso renovable que se produce de forma descentralizada y su empleo con fines energéticos puede dar utilidad al suelo laborable que progresivamente se está dejando baldío.

Para esto se ha utilizado variadas tecnologías como los sistemas de información

geográfica SIG, Lezcano (2011) resalta que el SIG proporcionará una plataforma que servirá como medio planificación y gestión del territorio, cuyo objetivo fue la identificación y estimación de potencialidades del territorio mediante el uso de herramientas de referenciación y de modelación.

Se desataca también la importancia ambiental del uso de la biomasa residual para producir energía; Garcia et al (2011) afirma que la biomasa es un recurso abundante y renovable que no contribuye al aumento del efecto invernadero y del cambio climático, Rechheia et al (2013) plantea el uso de la biomasa residual de los viveros como ramas hojas y tallos para la producción de energía y calculan una disminución del 15% en las emisiones de CO₂.

En Colombia, se ha realizado estudios pertinentes respecto a la eficiencia energética de los procesos de aprovechamiento de la biomasa agroindustrial residual, Chejne et al (2008) llevaron a cabo un diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia, en el cual se utiliza el bagazo de caña para la producción de energía, aquí se evidencia la baja tecnificación de los procesos de transformación de la panela y por ende su baja eficiencia energética, lo que les lleva a tener que utilizar combustible adicional para sus transformaciones; se proponen cambios que contribuyan al aumento de la eficiencia energética y así autoabastecerse del biocombustible materializado en el bagazo de caña.

La Unidad de Planeación Minero Energética (2010) realizó el estudio de las potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia, en el cual se reportan 29 millones de t/año de biomasa residual agrícola, procedentes del bagazo de caña de azúcar y panela, cascarilla de arroz y fibra de cocotero, pulpa de café, palma de aceite, frijol, caña

de azúcar y cebada, los cálculos indican que esta capacidad energética de 12.000 MWh/año.

Puntualmente en la evaluación energética del uso de biomasa como combustible se plantea la necesidad de que ingresen otros participantes que proporcionen mayor diversificación y confiabilidad al sistema de generación de energía en el país (Lezcano, 2011). El planeamiento energético debe ser orientado al óptimo aprovechamiento sustentable y la eficiencia energética desde la evaluación de los recursos energéticos existente y su potencialidad de generación. Se hace necesario contar con planeamientos que converjan al desarrollo energético sustentable y la eficiencia energética desde la evaluación de los recursos energéticos para la generación la diversificación de la canasta energética y el impulso al desarrollo tecnológico e industrial; en este trabajo se plantea el costo exergético como metodología para evaluar potencialidades de fuentes alternas de combustibles.

MÉTODOS Y MATERIALES

Diagnóstico de la disposición de los residuos sólidos agroindustriales en el Departamento del Cesar

Se obtuvieron las áreas cultivadas en el Departamento del Cesar, desagregadas por tipo de cultivo, con base en Información reportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2013); a partir de esa información se realizó una estimación de la cantidad de residuos sólidos agroindustriales generados en el Departamento del Cesar, aplicando el Factor del residuo (t residuo/t producto principal) reportado en el Atlas de Biomasa Residual (Escalante et al, 2010), para lo cual se correlacionaron las hectáreas cultivadas con los rendimientos de los cultivos y la cantidad de residuo que genera cada tipo de cultivo.

Luego de determinar los cultivos que generan la mayor cantidad de residuos sólidos en el Cesar se aplicó la metodología SIG (Sistemas de Información Geográfica) con el propósito de identificar las zonas en las que se encuentran las empresas que generan éstos residuos. Posteriormente se aplicó una encuesta a las empresas para conocer el manejo que éstas le dan a los residuos sólidos.

Calculo del potencial energético de los residuos agroindustriales en el Departamento del Cesar

Para evaluar el potencial energético de la Biomasa se aplicaron los modelos matemáticos reportados en el Atlas de Biomasa Residual (Escalante et al, 2010). Los modelos matemáticos para evaluar el potencial energético de la biomasa se fundamentan en que la energía contenida en su materia es proporcional a su masa seca y por consiguiente puede expresarse en forma general como:

$$PE = (Mrs) * (E) / \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

PE : Potencial energético [TJ/año]

Mrs : Masa de residuo seco [t/año]

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

La energía del residuo es equivalente al llamado Poder Calorífico Inferior (PCI) cuyas unidades son TJ/t de residuo seco.

Para el caso del sector agrícola se debe tener en cuenta que los residuos de la biomasa contienen una porción del producto principal del cultivo, esta fracción normalmente es mayor que la unidad. Inicialmente el modelo establece la masa seca del residuo agrícola, por unidad de tiempo, se puede expresar como:

$$Mrs = A * Rc * Mrg * Yrs / \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

Mrs: Masa de residuo seco [t/año]

A: Área cultivada [ha/año]

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

Mrg: Masa de residuo generada del cultivo [t de residuo/ t de producto principal]

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

Análisis de las condiciones de operación de los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos agroindustriales para producción de energía térmica

Se realizaron mediciones de las condiciones de operación de los equipos utilizados para generar energía a partir de biomasa residual, donde se analizó la energía útil de cada proceso y como está siendo aprovechado este potencial.

Se construyeron diagramas de los procesos donde se muestran los flujos másicos y energéticos de entradas y salidas en cada horno alfarero en los corregimientos de El Cielo, Las Casitas y Valencia de Jesús (Valledupar, Cesar), los cuales concentran el 70% de la producción de ladrillo artesanal del Departamento del Cesar (Corpopesar, 2010).

Para las determinaciones de los flujos másicos y energéticos se realizaron visitas de campo, donde se aplicó una encuesta que indagaba sobre tipos y cantidad de combustible por quema, tipo de horno utilizado y los tiempos de cocción de los ladrillos. Se correlaciona información concerniente con la disponibilidad del recurso energético (leña y biomasa residual) y el precio.

Análisis de las condiciones de combustibles utilizados en los procesos de producción de ladrillos y análisis de costos Exergético para evaluación de cambio de combustible por residuos sólidos agroindustriales

Con el fin de aplicar el método de costo exergético al proceso de producción de

ladrillos, este debe ser convenientemente dividido en los costos del combustible tradicional y los costos del combustible alterno amigable con el medio ambiente y que se asemeje a las condiciones de operación del tradicional, con esto se permite evaluar los principales componentes que pueden representar en un ahorro energético y de costos en la producción de ladrillos.

Para el análisis de este proceso se desarrolló un proceso de obtención de información por medio de encuestas y entrevistas en la zona de estudio (administradores de los hornos de producción de ladrillos y líderes comunales de las minas el cielo y las casitas), con el fin de determinar las condiciones de trabajo y las características de la materia prima para la producción de ladrillos.

Por medio del análisis a la madera utilizada como combustible y los tiempos en el proceso de producción de ladrillos, se estimara y compara el costo exergetico teniendo en cuenta el valor por kilogramo (Kg) de peso del combustible utilizado, así como el costo estimado que tiene esté. Para ello fue necesario estimar estos valores por medio de entrevistas a los administradores de los hornos y de igual forma al personal que transporta y comercializa el combustible utilizado.

Del mismo modo siguiendo con la metodología, se estimará a partir de literatura consultada, expertos en el tema y los datos recolectados en la investigación, el poder calorífico (Kj/Kg) que presentan los diferentes residuos sólidos de palma africana (Tusa, Fibra y Cuesco). De esta manera, se lograron unificar los valores reportados en diversos estudios para llegar a estimar un rango único de poder calorífico para estos residuos sólidos agroindustriales.

El costo exergetico es el inverso de la eficiencia exergetica de un proceso. Este costo indica la cantidad de exergeria re-

querida en un proceso para obtener una unidad de producto. Este valor es mayor o igual a uno, siendo igual a uno únicamente cuando se tiene un proceso reversible tanto interna como externamente.

Con esto, se representara de manera clara y precisa el costo exergetico del proceso de producción de ladrillos asociados al cambio de combustible, que se complemente mejor con el medio ambiente y que genere menos cantidad de gases de efecto invernadero en la zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la disposición de los residuos sólidos agroindustriales de Departamento del Cesar

Con el propósito de conocer las áreas cultivadas en el Departamento del Cesar, se obtuvo información representativa del uso actual que se le está dando a la tierra en el Departamento, desagregándola por tipo de cultivo. A continuación se presentan los valores de Área sembrada, cosechada, producción y rendimiento de cultivos transitorios y permanentes entre los años 2010 y 2013:

Cultivos	Área sembrada, cosechada producción y rendimiento	2010	2011	2012	2013
		Área cosechada (has)	3534	2529	3526
Algodón	Producción (t)	7783	6898	7718	8280
	Rendimiento (t/ha)	2,2	3	2,2	2,6
	Área cosechada (has)	31	4245	18122	17480
Arroz	Producción (t)	204	51944	95904	86850
	Rendimiento (t/ha)	6,59	12,2	5,3	5,0
	Área cosechada (has)	7127	7437	13512	17869
Maíz Amarillo	Producción (t)	12042	83614	36437	86879
	Rendimiento (t/ha)	1,73	11,5	2,6	5,3
	Área cosechada (has)	2176	4369	11272	2244
Maíz Blanco	Producción (t)	5479	55919	34378	7484
	Rendimiento (t/ha)	2,72	12,2	3,1	4
	Área cosechada (has)	9303	11805	24784	20113
Maíz total	Producción (t)	17521	139521	70815	94363
	Rendimiento (t/ha)	1,9	11,7	2,8	4,9
	Área cosechada (has)	1006	2186	2897	1920
Yuca	Producción (t)	18790	22663	28623	14088
	Rendimiento (t/ha)	20,18	11,8	27,9	11,9

Tabla 1. Área sembrada, cosechada producción y rendimiento de Cultivos transitorios en el Departamento del Cesar 2010-2013. Fuente: DANE

Se observa que de los cultivos transitorios, el Maíz y el Arroz generan una mayor producción en Ton/año, reportando un crecimiento desde el año 2010 al 2013. Además, se evidencia un mayor rendimiento (Ton/ha) para el cultivo de Arroz.

Cultivos	Área sembrada, cosechada producción y rendimiento	2010	2011	2012	2013
Café	Área cosechada (has)	22490	22350	22911	25107
	Producción (t)	13276	11036	19994	15050
	Rendimiento (t/ha)	0,6	0,5	0,9	0,6
Caña de Panelera	Área cosechada (has)	3767	3389	3327	3353
	Producción (t)	16517	14844	15825	13143
	Rendimiento (t/ha)	4,4	4,4	4,8	3,9
Banano	Área cosechada (has)		1	218	447
	Producción (t)		6	1604	2820
	Rendimiento (t/ha)		6	7,4	6,3
Mango	Área cosechada (has)	630	664	709	729
	Producción (t)	6070	6162	6652	6988
	Rendimiento (t/ha)	9,6	9,3	9,4	9,6
PALMA AFRICANA	Área cosechada (has)	35623	39199	40746	44922
	Producción (t)	130800	142350	147950	155449
	Rendimiento (t/ha)	3,7	3,6	3,6	3,5
Cacao	Área cosechada (has)		6078	4443	9581
	Producción (t)		12244	10587	18696
	Rendimiento (t/ha)		2	2,4	2

Tabla 2. Área sembrada, cosechada producción y rendimiento de Cultivos permanentes en el Departamento del Cesar 2010-2013. Fuente: DANE

En la Tabla 2 se observa una evidente diferencia en las cantidades producidas de Palma africana, en comparación con los demás cultivos permanentes. Estos datos ubican al cultivo de palma como el cultivo con la participación más importante en la producción agrícola del Departamento del Cesar.

A partir de la información consultada se realizó una estimación de la cantidad de residuos sólidos agroindustriales generados en el Departamento del Cesar, para lo cual se usaron los factores de los residuos reportados por el Atlas de Biomasa (Escalante et al, 2010).

Cultivo	Producción (t/año)	Tipo de residuo	Origen del residuo	Factor del residuo (t residuo/t producto principal)	Masa de residuo (t/año)	Potencial energético (TJ/año)
Palma africana	173.200	Cuesco	RAI	0,22	38.104	521,80
		Fibra		0,63	109.116	1346,26
		Raquis de Palma		1,06	183.592	1312,20
Maíz	94.363	Rastrojo	RAC	0,93	87.758	866,65
		Tusa		0,27	25.478	265,09
		Capacho		0,21	19.816	302,164
Arroz	86.850	Tamo	RAC	2,35	204.098	729,69
		Cascarilla	RAI	0,2	17.370	251,577

Tabla 3. Potencial energético (TJ/año) de los cultivos más representativos en el Cesar. Fuente: Modificado de Escalante, et. al 2010.

Según el Atlas de Biomasa, los residuos que se usan para biomasa son: cáscara y pulpa de frutas y vegetales, cáscara y polvo de granos secos, estiércol, tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura.

Teniendo en cuenta las elevadas cantidades de residuos que se generan en el

caso del cultivo de Palma se tomó este cultivo como objeto de estudio en ésta investigación. Con base en lo anterior se aplicó la metodología SIG (Sistemas de Información Geográfica), y se identificaron las empresas de Palma de la región, como se muestra en la figura 1, posteriormente obtener información de las mismas mediante la aplicación de una encuesta.

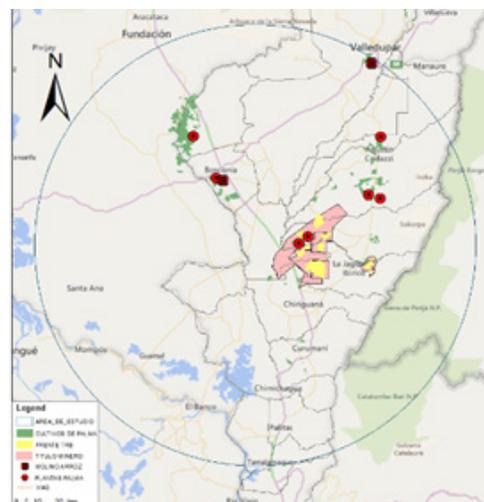


Figura No. 1: IMAGEN SIG. Fuente: Elaboración propia

Los residuos provenientes de la palma de aceite son cuesco, fibra y raquis. En la Tabla 3 se reportó la alta cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan a partir del cultivo de Palma, no sólo durante el beneficio sino durante el proceso de corte y cosecha. La mayoría de estos residuos son material vegetal tales como hojas, pedúnculos, raquis, nueces y cuesco. Del mismo modo, los raquis o tusas generados por el proceso en la etapa del desfrutamiento, son considerados como residuos.

De la biomasa residual generada, aunque actualmente presenta diversas formas de aprovechamiento, se destaca el uso de un alto porcentaje de fibra y cuesco como combustible en la caldera, y el de la tusa la cual en su mayoría es enviada al campo como acondicionador de suelo en las plantaciones de palma de aceite.

Usos actuales de la biomasa residual generada en plantas de beneficio de fruto de palma			
Zonas Central, Norte y Oriental			% RFF
Total de Aprovechamiento (%)	Tusa	Caldera	0.41
		Campo	17.36
		Compostaje	3.07
		Cama para cerdos	0.1
	Fibra	Caldera	10.5
		Campo	1.78
		Compostaje	0.75
	Cuesco	Vías	0.4
		Venta	0.86
		Compostaje	0.26
		Caldera	3.582
		Prensas	0.24

Tabla 4. Usos actuales de la biomasa residual generada en plantas de beneficio de fruto de palma. Fuente: Plantas de beneficio zonas Central, Oriental y Occidental. Cenipalma 2010.

Con base en las encuestas realizadas en éste estudio se determinó que el aprovechamiento que las empresas dan a la tusa es en campo (90%) y compostaje (10%). Por otro lado el aprovechamiento de fibra es principalmente caldera (70%) y campo (30%). Por último, el aprovechamiento del cuesco es para caldera (50%), en vías para protección por lluvias (40%) y para la venta (10%). Generalmente, el principal aprovechamiento de estos residuos es para calderas, debido a que las empresas manifiestan no contar con la infraestructura adecuada para almacenar volúmenes representativos para la venta en lugar de quemarlos.

Análisis Y Balances De Materia Y Energía

El secado de los ladrillos recién moldeados se da a la intemperie por un periodo de entre 5-7 días, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2. Secado de ladrillos después de moldeados. Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Levantamiento horno. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la cocción de los ladrillos que se producen de manera artesanal en los corregimientos de El Cielo y las Casitas del municipio de Valledupar se lleva a cabo en hornos intermitente tipo Pampa, en los que los productos, la instalación de la cocción y la de enfriamiento quedan en posición fija durante todo el ciclo, en el cual se apilan los ladrillos moldeados con arcilla como se muestra en la Figura 4, previamente secados al sol, estos hornos poseen unas bóvedas en la parte inferior, por los cuales se introduce el combustible a quemar.

Según las encuestas realizadas, se pudo determinar que el tiempo de cocción de los ladrillos es de 24 horas, en las cuales un obrero suministra el combustible necesario para garantizar la continuidad del proceso.

La producción declarada en las encuestas por los alfareros en fue en promedio de 10.000 ladrillo/horno mensual, se estima que en el sector de Las Casitas se producen aproximadamente 1.500.000 ladrillos/mes.

Características del combustible utilizado

El combustible utilizado en la cocción de los ladrillos es Algarobillo (Samanea Saman), la cual se observa en la Figura 4 (Rudas et al, 2014), para la producción de 10.000 ladrillos, es decir la carga de un horno, se emplean en promedio 4.700 Kg de madera.

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL ALGAROBILLO	
Poder calorífico inferior	14000 KJ/Kg
Carbono	46,62%
Hidrógeno	5,73%
Nitrógeno	0,2%
Oxígeno	32,56%

Tabla 5. Características energéticas del algarobillo (samanea saman).
Fuente: (Corpocesar, 2010), (Cabrera et al, 2011)



Figura 4. Leña utilizada como combustible en cocción de ladrillos
Fuente: elaboración propia

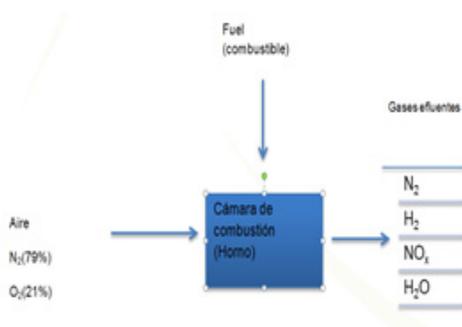
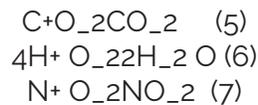


Figura 5. Diagrama proceso cocción de ladrillo.
Fuente: elaboración propia

Balances de masa y energía del proceso de cocción del ladrillo

Teniendo en cuenta las características de la leña utilizada para la cocción de ladrillos y su composición, se presenta a continuación en la Figura 5 el balance de masa del proceso.

En este proceso se lleva a cabo el proceso de combustión, que según las características de la leña anteriormente descritas, se dan las siguientes reacciones:



A partir de estas reacciones de combustión y teniendo como base de cálculo la cantidad de madera utilizada por horno para la producción de 10.000 ladrillos (Batch), se determinaron las cantidades de gases efluentes de la cámara de combustión (horno).

Composición del combustible	
Elemento	Porcentaje
Carbono	46.62
Nitrógeno	5.73
Hidrógeno	0.2
Oxígeno	32.56
Cenizas	14.89

Tabla 6. Composición del combustible (madera)

Entrada en el horno	
Cantidad de madera por batch 4.700 Kg	
Elemento	Kilogramo
Carbono	2191.14
Hidrógeno	269.31
Nitrógeno	9.4
Oxígeno	8.14
Aire seco 20% en exceso	
Elemento	Porcentaje
Nitrógeno	79%
Oxígeno	21%

Tabla 7. Elementos de entrada al horno

Gases efluentes del horno	Kilogramos
CO ₂	8034.18
H ₂ O	201.9825
NO ₂	36.033
N ₂	23888.20
O ₂	26.048

Tabla 8. Elementos de salida del horno. Fuente: Elaboración propia.

El balance de energía de la cámara de combustión queda descrito de la siguiente manera:

$$m_{\text{aire}} E_{\text{aire}} + m_{\text{f}} P_{\text{c}} - m_{\text{g}} (C_{\text{p}_g}) \Delta T_{\text{g}} = m_{\text{l}} E_{\text{l}} \quad (8)$$

Donde

$$E_{\text{aire}} = C_{\text{p}_{\text{aire}}} \Delta T_{\text{aire}} \quad (15)$$

$$\Delta T_{\text{aire}} = (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}) \quad (16)$$

$$\Delta T_{\text{g}} = (T_{\text{salida gases}} - T_{\text{ambiente}}) \quad (17)$$

m_{aire} : Masa de aire que entra al horno

m_{f} : Masa del combustible (leña) que se quema en el horno

P_{c} : Poder calorífico del combustible (leña)

m_{g} : Masa de gases efluentes

(C_{p_g}) : Capacidad calorífica ponderada de los gases efluentes

m_{l} : Masa batch ladrillos

E_{l} : Energía transferida a los ladrillos

Los datos medidos en los hornos ubicados en las Casitas y el Cielo se relacionan en la siguiente tabla:

Temperatura ambiente promedio °C	35
Temperatura de salida gases promedio °C	180
Cp ponderado gases efluentes KJ/Kg.K	0.91135

Tabla 9. Datos medidos en el horno. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos y con las ecuaciones planteadas anteriormente obtenemos que:

Qtransferido ladrillos= 364000 KJ, esto para el batch de 10.000 ladrillos

La energía que entra debido al combustible es de 65.800.000 KJ, luego para la

cocción del ladrillo se está aprovechando efectivamente el 3% de la energía entregada por el combustible.

La energía que sale en los gases de combustión es de 6306621,07 KJ en un batch de ladrillos

Análisis de las condiciones de combustibles

Para la realización de costo Exergético se hallaron los valores del costo del combustible utilizado actualmente para el proceso de producción de ladrillos en la mina el cielo y las casitas, para ello fue determinante los datos obtenidos de los comercializadores del combustible y por ende los dueños de los hornos ladrilleros.

Con la finalidad de representar en pesos (\$), el impacto que tiene la disminución en la calidad de la energía del combustible utilizado, realizamos una valoración económica de las pérdidas de exergía por utilización de combustibles fósiles en los hornos; este es un proceso donde se encuentra un costo oculto, pero es muy importante, se puede revelar solo por parte de un análisis termoeconómico por medio de costo exergético.

Se obtiene como propósito del costo exergético entender la formación de costos en el proceso y el flujo de costo en el sistema, para evaluar el desempeño de un componente simple, o de optimizar variables específicas de diseño en un componente simple, todo esto puede ser costado como si fueran a ser utilizadas posteriormente por el sistema.

En el caso de las minas las casitas y el cielo del municipio de Valledupar el costo del combustible utilizado para la producción de ladrillos es la leña, de la cual su origen se desconoce y por lo tanto no existen garantías de que su obtención se realice de manera racional y sostenible. Según estudios desarrollados por algunos autores y los datos suministrados por el personal de la zona, en algunos casos solo se puede

identificar a nivel de orden o familia de la leña utilizada, mientras que en otros menos complejos se puede conocer la especie a la cual pertenece (Williams J. León H; 2002). En este caso particular pudimos identificar que la leña más utilizada era obtenida por un árbol representativo de la zona de estudio que es el Trupillo (Samaña Saman).

Para poder determinar el Peso del Bach de combustible fue necesario realizar el pesaje directo de la leña para poder obtener en promedio el dato exacto del peso para la utilización en la quema en horno para la producción de ladrillos. Se tomaron cada uno de los troncos del camión y se fueron pesando uno a uno por medio de una báscula previamente calibrada. Este proceso se realizó de modo al azar en días distintos y en condiciones climáticas similares en la mina las casitas y el cielo, y pudimos recolectar datos representativos como se muestra en la siguiente tabla:

Lugar	Cantidad (Und)	Peso Aproximado (Kg)
Mina Las Casitas	1 Bach	4705
Mina El Cielo	1 Bach	4769
Mina El Cielo	1 Bach	4636
Mina Las Casitas	1 Bach	4721

Tabla 10: Peso del Bach de Combustible. Fuente: Elaboración propia

Se pudo estimar que en promedio aproximadamente por bach de combustible para la producción de ladrillos es de 4700 Kg. Esta cantidad de madera el personal de la mina del cielo y las casitas la obtiene a un precio aproximado \$450.000 pesos Mcte.

Del mismo modo, se obtuvo información sobre los residuos sólidos agroindustriales representativos e idóneos para ser utilizados como fuente combustible amigable con el medio ambiente. Estos residuos por disposición y cantidad son los residuos de palma africana, los cuales fueron costeados por las empresas del departamento del Cesar. Con encuestas realizadas pudimos dimensionar que el precio de estos

residuos oscilan en un valor cercano a los \$ 95 pesos Mcte por cada kg (Corpocesar, 2013); lo que evidencia que el precio con relación a la cantidad utilizada por Bach de combustible es muy cercana a la que actualmente se paga por la leña con la diferencia que los residuos sólidos de palma son mucho más fáciles de transportar, son residuos amigables con el medio ambiente, ya que su combustión es neutra con el medio, y además por su volumen pueden ser transportado en las mismas condiciones que la leña y en una mayor cantidad.

El costo exergético del combustible actualmente utilizado (Leña) y el de los residuos sólidos agroindustriales es representado a través de la comparación en la siguiente tabla.

Tipo de Combustible	Costo del Combustible (\$/Kg)	Poder Calorífico* (Kj/Kg)	Costo Exergético (\$/Kj)
Leña	\$ 95,74	14000	6,84 x 10 ⁻³
Tusa o Raquis	\$ 100	16823,863	5,94 x 10 ⁻³
Fibra	\$ 95	17882,416	5,31 x 10 ⁻³
Cuesco	\$ 90	16685,792	5,39 x 10 ⁻³

*Se tomaron los valores establecidos en el atlas de biomasa

Tabla 11: Costo Exergético del Combustibles (leña) y Residuos Sólidos Agroindustriales. Fuente: Elaboración propia

Al comparar el poder calorífico del combustible tradicional con el de los residuos sólidos agroindustriales de palma africana, podemos observar que los poderes caloríficos de los residuos son un poco mayores a los de la leña convencional. Sin embargo es importante destacar que en el caso específico de la Tusa o Raquis este contiene un gran porcentaje de humedad (superior al 40%) según lo reportado por el atlas de biomasa en 2010 y por Miranda, I. et. al. 2009.

En comparación con los combustibles fósiles, los residuos sólidos agroindustriales poseen un contenido energético menor. La razón es que los residuos tienen una mayor relación de oxígeno e hidrógeno con respecto al carbono y jus-

tamente la mayor cantidad de energía se almacena en las cadenas carbono-carbono. (Escalante, et. al. 2010).

Por otro lado podemos dilucidar que el costo Exergético de la leña con relación a los residuos sólidos agroindustriales de palma es superior en precio (\$) con relación a la cantidad de energía (Kj) que genera. Esto nos da a entender, que es muy factible la utilización de estos residuos para la utilización como combustible en los procesos de producción de ladrillos, sin embargo hay que seguir desarrollando pruebas pilotos para obtener datos concretos de su utilización, y así mismo lograr datos de las características del producto final (ladrillos). De igual forma siendo estos residuos sólidos un combustible de origen natural de un proceso de transformación industrial, no causaría afectación al medio ambiente y por ende no se estaría contribuyendo a la deforestación de la zona, ni al aumento de los gases de efecto invernadero que está ocasionando tantos problemas de cambio climático en el mundo, y además estaríamos contribuyendo a la solución a una problemática de las empresas de palma a la hora de disponer de estas grandes cantidades de residuos sólidos.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo analizado en la disposición de residuos sólidos Agroindustriales podemos determinar que el departamento del Cesar cuenta con un potencial recursos para uso energético de 350.413 Toneladas/año. Con esto se definió que el departamento cuenta con alrededor de 600.000 toneladas de residuos que pueden ser utilizados para la producción de energía termica, lo que es consecuente con lo establecido según estudios realizados por la Miranda et. al., 2009, UPME 2010, Garcia et. al. 2010, que además presentan que la disposición de potencial energético en el departamento del Cesar es de es de 5500 TJ/año.

Los residuos sólidos agroindustriales del

proceso de extracción de palma africana son los que aportan mayor cantidad de energía, respecto a los desechos de arroz y maíz, por lo cual la aplicación como combustible es de interés en instalaciones de las empresas donde se genera y además es un potencial para el uso como combustible para las minas de la zona de estudio.

Los residuos sólidos actualmente por su gran cantidad se encuentran como una problemática para algunas de las empresas del sector por ello es indispensable direccionar este estudio a su aplicación hacia otros sectores de la economía con el fin de contribuir al manejo adecuado de estos residuos y a la mejora del medio ambiente en cuanto a la consideración de los residuos como reemplazo de la leña para diversas actividades entre ellas la producción de ladrillos artesanales. El proceso de cocción de ladrillos en este tipo de horno presenta un aprovechamiento de sólo un 3% de la energía contenida en el combustible.

El costo exergético obtenido dimensiona la posibilidad de sustituir el combustible convencional (Leña), debido a que presenta un bajo costo y además con la utilización de los residuos agroindustriales se está colaborando con la disminución de gases de efecto invernadero y con la disminución de la deforestación en la zona minera del cielo y las casitas. Además las tendencias a la globalización de la economía mundial traen consecuencias y riesgos ambientales, creando la necesidad de impulsar una coexistencia armoniosa e integrada entre los combustibles utilizados y las políticas ambientales en busca del desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

Antonio Bizzo, W., Lenço, P. C., Carvalho, D. J., & Veiga, J. P. S. (2014). The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its charac-

terization and its use in energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 589-603. doi:10.1016/j.rser.2013.08.056

Arredondo, H. I. V., Janna, F. C., & Santamaría, A. F. A. (2004). Diagnóstico Energético De Los Procesos Productivos De La Panela En Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 57(2). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=179914073007>

Biomasa_CULTIVOS ENERGETICOS.pdf. (n.d.). Retrieved from http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/biomasa_CULTIVOS%20ENERGETICOS.pdf

Cabrera, G., Burbano, J.C. y J. I. Garcíal. (2011). Preliminary analysis of biomass potentially useful for producing biodiesel. *Dyna* 78 (170): 144-151.

COPENA, D. and Simon, X. (2014). La producción de energía eléctrica a partir de la biomasa forestal primaria: análisis del caso gallego. *Universidad de Vigo. Revista Galega de Economía*, vol. 23, núm. 2, pp. 91-112.

Ćosić, B., Stanić, Z., & Duić, N. (2011). Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia. *Energy*, 36(4), 2017-2028. doi:10.1016/j.energy.2010.10.009

De ciencia, Tec. E., & En, E. L. (n.d.). Y capacidades. Retrieved from <http://www.investigadoresgema.com.co/Evolucion%20Dpto%20Caqueta.pdf>

DIAGNOSTICO PML SECTOR PALMERO. pdf. (n.d.). Retrieved from <http://www.corpocesar.gov.co/files/DIAGNOSTICO%20PML%20SECTOR%20PALMERO.pdf>

Escalante Hernández, H. (2010). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. [Bogotá]: Unidad de Planeación Minero Energética: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias: Universidad Industrial de Santander.

Flores, N., Silva, J., Anschau, R. A., Carballo, S. y J. A. Hilbert. (2010). Analysis of the potential production and the development of bioenergy in the province of Mendoza - Biofuels and biomass- using Geographic Information Systems. *International Journal of Hydrogen Energy* (35): 5766-5771.

García, L. R. (2013). Economía de la empresa. Palibrio. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=uN1UAgAA-QBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=%22Español%20de+la+Lengua+es+%E2%80%9C+Sitio+donde+se+hace+%22+determinadas+tecnolog%C3%ADas+y+pr%C3%A1cticas+en+%22+en+relaci%C3%B3n+con+los+retos+e+incertidumbre+%22+el+optimismo+en+el+alcance+de+la+tecnolog%C3%ADa+y+de+la%22+&ots=ivzRik4HJ-&sig=b2VtapxWG4627O01lgum7NofDdk>

García-Maraver, A., Zamorano, M., Ramos-Ridao, A., & Díaz, L. F. (2012). Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 745-751. doi:10.1016/j.rser.2011.08.040

Gautam, S., Pulkki, R., Shahi, C., & Leitch, M. (2010). Economic and energy efficiency of salvaging biomass from wildfire burnt areas for bioenergy production in northwestern Ontario: A case study. *Biomass and Bioenergy*, 34(11), 1562-1572. doi:10.1016/j.biombioe.2010.06.001

IDAE. (2007,). Plan de Energías Renovables

- 2011- 2020. - IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Retrieved February 26, 2014, from <http://www.idae.es/index.php/id.670/relmenu.303/mod.pags/mem.detalle>
- Produccion Agricola.xlsx. (n.d.). Retrieved from <http://www.sac.org.co/images/estadisticas/produccionagricola.xlsx>
- Iglinski, B., Iglinska, A., Kujawski, W., Buczkowski, R. y M. Cichosz. (2011). Bioenergy in Poland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (15): 2999-3007.
- Jiménez, S. Combustión de biomasa. (2012). Obtenido de Repositorio institucional Universidad de Malaga. Disponible en <http://www.energia2012.es/>
- Messineo, A., Volpe, R., & Marvuglia, A. (2012). Ligno-cellulosic biomass exploitation for power generation: A case study in sicily. *Energy*, 45(1), 613-625. doi:10.1016/j.energy.2012.07.036
- Moro, B. (2010) Cesar. Análisis de Conflictividad. Retrieved from <http://www.undp.org/content/dam/undp/documents/projects/COL/00058220/Analisis%20Cesar%20Definitivo%20PDF.pdf>
- Patiño, P. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Revista Innovaciencia* 2014; 2 (1): 45 - 52.
- Quintero, J. and Quintero, L. (2015). Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano. *Revista Gestión y Ambiente*. Volumen 18 (1): 179-188.
- Recchia, L., Sarri, D., Rimediotti, M., Boncinelli, P., Vieri, M., & Cini, E. (2013). Environmental benefits from the use of the residual biomass in nurseries. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 31-39. doi:10.1016/j.resconrec.2013.09.010
- Rivera, D., Plata, L., Castro, L., Guzmán, C., Escalante, H. (2012). Aprovechamiento del subproducto sólido de la digestión anaerobia del bagazo de fique (*Furcraea macrophylla*) para el acondicionamiento de suelos. *REVISTA ION*; 25(1): 25-34.
- Santos, Gloria (2007). Diagnóstico y propuesta de gestión de los residuos sólidos generados por el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana en palma soleaginosas bucarelias.a. Retrieved from <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7044/2/123928.pdf>
- S. C. Bhattacharya, P. Abdul, H. Runqing, H. I. Somashekar, D. A. Racelis, P. G. Rathnasiri and R. Yingyuad. (2010). An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in Selected Asian Countries. *Biomass & Energy*, No. 29, pp 153-163.
- Vélez, J. F., Chejne, F., Valdés, C. F., Emery, E. J., & Londoño, C. A. (2009). Co-gasification of Colombian coal and biomass in fluidized bed: An experimental study. *Fuel*, 88(3), 424-430. doi:10.1016/j.fuel.2008.10.018