

Innovaciencia 2014; 2 (1): 45 - 52

BIOMASA RESIDUAL VEGETAL: TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN Y ESTADO ACTUAL

VEGETABLE RESIDUAL BIOMASS: TECHNOLOGIES OF TRANSFORMATION AND CURRENT STATUS

*Pedro Elías Patiño Martínez*¹

Cómo citar este artículo: Patiño Martínez PE Biomasa Residual Vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. Innovaciencia facultad cienc. exactas fis. naturales. 2014; 2(1): 45 - 52

Artículo recibido el 02 de junio de 2014 y aceptado para publicación el 15 de septiembre de 2014

Resumen

La biomasa residual vegetal es una alternativa para la producción de energía a nivel mundial. La conversión de los residuos vegetales en alguna forma energética requiere la aplicación de tecnologías que estén acorde a lo expresado en el numeral IV, artículo 2 del Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (1998) y normativas específicas de cada país o región. Las tecnologías que se le pueden aplicar a los residuos vegetales son bien conocidas a nivel mundial, dentro de estas se incluye: la combustión que permite generar un combustible denominado bio-oil, la gasificación que genera principalmente dióxido de carbono y amoníaco, la pirólisis que genera un gas combustible, y procesos biológicos (fermentación y digestión) que generan bioetanol y biogás. Actualmente en España, Estados Unidos, Brasil y Alemania, entre otros, se vienen desarrollando políticas con el fin de incentivar la implementación de plantas de biomasa. En Colombia la transformación de la biomasa residual vegetal hasta ahora se encuentra en fase de experimentación en laboratorios de Investigación científica principalmente en instituciones de educación superior.

Palabras clave: Biomasa, Protocolo de Kioto, Biodiesel, Combustión, Carbono, Energía.

Abstract

The vegetable residual biomass is an alternative for energy production worldwide. To carry out the process of transforming waste into energy carrier, the application of technologies that are consistent with the statement in Section IV, Article 2 Kyoto Protocol to the Framework Convention of the United Nations on Climate Change (1998) and specific regulations of each country or region are required. The technologies that can be applied to vegetable residues are well known globally, within these include: the combustion that generates a fuel called bio-oil, gasification mainly generated carbon dioxide and ammonia, pyrolysis generates a combustible gas, and biological processes (fermentation and digestion) which generate ethanol and biogas. Currently in Spain, USA, Brazil and Germany, amongst other countries, policies have been developed in order to encourage the implementation of biomass plants. In Colombia the residual biomass conversion vegetable so far is being tested in scientific research laboratories mainly in institutions of higher

1. Licenciado en Biología, Especialista en Administración y Docencia Universitaria, Magister en Sistemas Energéticos Avanzados. Profesor Asociado. Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Grupo de Investigación CIBAS. Bucaramanga. Correspondencia: ppatino@udes.edu.co

education as the IUniversidad Industrial de Santander, Universidad de Antioquia and Universidad Nacional de Colombia, among others.

Keywords: Biomass, Kyoto Protocol, Biodiesel, Combustion, Carbon Energy.

INTRODUCCIÓN

La biomasa se refiere a “todo material de origen biológico, excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización (PER 2011-202)”. También la biomasa es referida principalmente a la energía solar convertida por la vegetación en más vegetación o materia orgánica y posteriormente dicha materia orgánica puede ser convertida en diferentes tipos de energía, acorde al uso que se le quiera dar.

En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica o de los productos derivados de ésta¹.

La biomasa es una energía renovable, ya que su contenido energético es el resultado de la fotosíntesis, nombre dado al proceso de conversión de la energía lumínica del sol en energía química (ATP) utilizada posteriormente para la transformación del dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) en carbohidratos y oxígeno (O_2). La fotosíntesis se divide en dos fases:

1. Lumínica (Fotoquímica o reacción de Hill): en esta fase la luz solar es absorbida por las moléculas de clorofila que están almacenadas en los tilacoides del cloroplasto, los electrones de la clorofila son lanzados a niveles energéticos superiores oxidando la clorofila. La energía contenida en los electrones se usa para transformar el ADP en ATP, en esta misma etapa las moléculas de H_2O se rompen liberando oxígeno (O_2)².

2. Fase Oscura o independiente de Luz: en esta fase el ATP formado en la fase anterior se utiliza para convertir el CO_2 en carbohidratos sencillos ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), esta fase también es conocida como fase de fijación del Carbono. Los carbohidratos son la forma química de almacenamiento de energía y que luego va a ser transformada en otra fuente energética mediante los procesos de transformación anaeróbicos³.

Tipos de biomasa vegetal:

Forestal o de bosques: Este tipo de biomasa ha sido la más explotada en el mundo con fines energéticos y posiblemente lo siga siendo durante varias décadas. La explotación forestal para obtener leña principalmente

se ha tecnificado y para aprovechar suficientemente cualquier otro residuo resultante, consecuentemente los resultados catastróficos ambientales son muy altos; lo anterior en razón a que la biomasa de los bosques realiza una tasa alta de fijación de N_2 y CO_2 ; y ante la deficiencia que se pueda presentar en estos se incrementa el CO_2 atmosférico y así mismo al fortalecimiento del efecto invernadero que a su vez provoca el calentamiento global. En la región de la Amazonía colombiana hay un potencial de biomasa superior a 11.000 Mton representadas en un área aproximada de 435.000 Km^2 . La región Amazonas abarca gran parte del territorio de Colombia, alrededor de un 40%, la mayor parte es llano, selvático, con una parte conocida como piedemonte amazónico, formado por las estribaciones de la Cordillera Oriental Colombiana⁴.

Biomasa residual y/o industrial: Es la que se genera como consecuencia de cualquier proceso en que se consume biomasa y se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, así como los residuos de origen orgánico generados en las industrias y en los núcleos urbanos⁵. La utilización de biomasa residual es, en principio, atractiva, pero limitada: en general, es más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía que se puede generar con su aprovechamiento. Sin embargo, pueden hacer autosuficientes desde el punto de vista energético a las instalaciones que aprovechan sus propios residuos tales como granjas, industrias papeleras, serrerías o depuradoras urbanas¹.

Biomasa Residual agrícola y de residuos de poda: La biomasa residual agrícola herbácea es la paja de cereal (arroz, trigo, cebada, centeno, etc.), la caña del maíz y el girasol. La biomasa residual generada de poda es la obtenida de los cultivos leñosos⁶. Según la composición de Carbohidratos (compuestos más abundantes en la biomasa vegetal) se puede clasificar en:

- Biomasa Lignocelulosa: en esta predominan las celulosas de hemicelulosa, holocelulosa y lignina^{7, 8}.
- Biomasa amilácea: en esta predomina hidratos de carbono como el almidón y la inulina, estos son polisacáridos de reserva en los vegetales⁹.
- Biomasa azucarada: los hidratos de carbonos son azúcares monosacáridos (glucosa o fructosa) o disacáridos como la sacarosa¹⁰.
- Biomasa energética: incluye los materiales de origen biológico que no pueden ser empleados con fines alimenticios, está cubre actualmente el 14% de las necesidades energéticas mundiales y en los países industrializados, solo cubre el 3% de la energía

primaria; con la excepción de los países nórdicos europeos, donde su utilización para producción de calor en centrales avanzadas es bastante común¹¹.

Estado actual de la Biomasa en el mundo

Los países en vía de desarrollo emplean la biomasa, en el consumo tradicional de leña en un 38% de su demanda energética y en algunos países de África, este porcentaje se eleva al 90%. Respecto a su uso en el mundo, el 75% es doméstico tradicional y el 25% es industrial. La producción de energía primaria procedente de biomasa en los 25 países de la Unión Europea en 2006 fue de 62,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La cantidad correspondiente en los años anteriores había sido de 59,3 en 2005, 55,6 en 2004 y 52,5 en 2003. Por tanto, el incremento anual de la producción fue del 5,9% en el año 2004, 6,7% en 2005 y 5,3% en 2006¹². Finlandia es el país del mundo que más emplea la energía procedente de biomasa sólida, la cual supone el 30% de su consumo total de energía primaria y aproximadamente el 20% de su producción de electricidad. En Finlandia se favorece la producción de calor y electricidad procedente de la biomasa con la exención total del impuesto sobre la energía pagado por los consumidores finales. Además hay subvenciones, que pueden llegar hasta el 30%, a las inversiones en plantas de generación eléctrica con biomasa. Para financiar la producción de electricidad procedente de fuentes renovables se utiliza la recaudación que se obtiene con un impuesto sobre el CO2 aplicable a combustibles fósiles¹²

De los países de la comunidad Europea, según datos del Observatorio Nacional de Calderas de Biomasa (ONCB), a diciembre de 2012 se estimó que España disponía de 4.000 MW instalados. El grueso de instalaciones recogidas en el ONCB es de uso doméstico, con el 86,6% de las referencias, y el 20% en potencia¹³.

Entre los países asiáticos, China es un gran país agrícola y uno de los más abundantes recursos de paja en el mundo, produciendo más de 620 millones de toneladas en 2002, la cual representa alrededor del 33-45% del consumo de energía de subsistencia en las zonas rural¹⁴.

Durante el encuentro Iberoamericano sobre desarrollo sostenible (EIMA, 2012), Altino Ventura, Secretario de Planificación Energética del Ministerio de Minas y Energía de Brasil (MME), comparó la oferta energética de Brasil con el resto del mundo. “En Brasil, el 45% de la energía proviene de fuentes renovables, mientras que en el mundo es de sólo el 13%. Con relación a la energía de fuentes fósiles, el mundo se abastece

de un 81%, entre petróleo, carbón y gas natural, y en Brasil es del 53%; la producción de energía a partir de la biomasa se ha incrementado, especialmente a partir de los derivados de la caña de azúcar (etanol, bagazo y paja de caña”.

Tabla 1: Potencial energético de la biomasa residual vegetal en Colombia

Residuo	Ton/año*	Potencial Energético (TJ/año)
Plátano	11.500.000	6.600
Café	5.050.000	49.100
Caña de Azúcar	15.534.600	118.578
Palma	1.660.000	16.073
Maíz	1.940.000	20.800
Arroz	6.282.400	27.736
Banano	11.551.000	6.600

**Información suministrada por los centros de investigación y federaciones relacionadas con el gremio (Cenipalma, Cenicaña, Cimpa, Cenicafé, Augura, Fedearroz y Fenalce)*

Estado actual de la Biomasa en el Colombia

Colombia se caracteriza por tener un gran potencial de biomasa a partir de residuos vegetales (tabla 1) y se tiene un estimado de residuo de poda mayores a 44815 ton/año correspondientes al 27% de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU), el potencial energético de los residuos de poda es mayor (78%) que el resto de RSOU¹⁵.

En el Departamento de Santander se han realizado estudios experimentales para determinar el aprovechamiento de los residuos vegetales entre los que están: el beneficio del fique en Colombia genera 15.000 toneladas de residuo (bagazo)/ha sembrada. El análisis fisicoquímico determino que el poder calorífico es de 3298 Kcal/Kg, lo cual la hace idóneo para la producción de biogás¹⁶. Determinación del potencial energético de los residuos vegetales del arroz¹⁷. La Cascarilla y el Tamo, los cuales tienen un potencial para ser aprovechados energéticamente por procesos termoquímicos y biológicos. Se estimó que el potencial energético de los residuos del sector arrocero es de 67.723 TJ/año, proveniente de 5.907.648 Ton/año de residuos. Se mostró la importancia del sector arrocero en Colombia como fuente constante de recursos agrícolas.

En la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco se ha venido estudiando el aprovechamiento de los residuos de poda y la búsqueda de materias primas para producir biocombustibles. Se llevó a cabo la hidrólisis

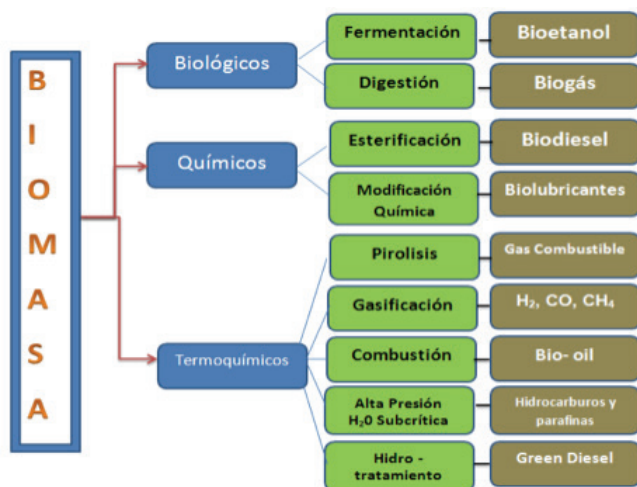
de la biomasa lignocelulosa contenida en los residuos de poda, con el fin de producir jarabes glucosados para, potencialmente, ser convertidos en bioetanol. Se aplicaron dos metodologías: la hidrólisis ácida, usando ácido sulfúrico diluido y la hidrólisis enzimática, con enzimas celulasas. Se obtuvo una mayor conversión con la hidrólisis ácida de todas las muestras (entre 10 y 30 g/L de glucosa) que con la hidrólisis enzimática de los residuos mezclados (8,83 g/L de glucosa), quedando abierta la posibilidad de obtener biocombustibles a partir de este tipo de residuos¹⁸.

El total del potencial energético de Biomasa Residual en Colombia es de 409,3 Terajulios/Año (TJ/año). Según el tipo de residuo, el 91,74 TJ/año corresponde al generado en plazas de mercado y 318,13 TJ/año a residuos de poda¹⁷.

Procesos y tecnologías de transformación de Biomasa

La biomasa debe someterse a varios procesos para ser utilizada como fuente de energía. La finalidad de estos procesos es la transformación de la energía acumulada en forma de carbono e hidrógeno, en combustibles sólidos, líquidos, gaseosos o directamente en electricidad. Estos tipos de energía tienen mayor espectro y son más fáciles de utilizar¹⁹. Los procesos y tecnologías de transformación a la que se pueden someter los residuos vegetales se pueden observar en la figura 1. Existen tres procesos de transformación: a) Procesos termoquímicos, como la combustión (producción de bio-oil), pirolisis (gas combustible), gasificación (H_2 , CO , CH_4), Alta presión-Agua subcrítica y el hidrotatamiento; b) Procesos de conversión biológica incluyen la fermentación (bioetanol), y la digestión (biogás):

Figura 1. Tecnologías de transformación de la biomasa (UPME 2003)



Fuente: Autor del artículo

una mezcla principalmente de metano y dióxido de carbono) y c) Procesos químicos incluyen la Esterificación (Biodiesel), y las modificaciones estructurales químicas (reacción de esterificación)²⁰. A continuación, se hará una descripción de los métodos mencionados.

Combustión directa: desde hace mucho tiempo la biomasa se ha empleado en pequeñas calderas domésticas para generar calor. En general, se trata de sistemas de poca eficiencia energética donde la biomasa no requiere de ningún tratamiento previo²¹ y para su aprovechamiento industrial, es necesario recurrir a grandes instalaciones, basadas en la generación de vapor a alta temperatura y presión/electricidad. Acorde a la tecnología empleada, se distinguen tres (3) tipos de menor a mayor eficiencia²²:

- *Calderas de lecho fijo o parrilla.* El combustible, en astillas o trozos de varios centímetros, se introduce sobre unas placas vibrantes o parrillas inclinadas, en las que se quema al tiempo que se desplaza hacia un colector de cenizas en el extremo opuesto a la inyección.

- *Calderas de lecho fluido.* El combustible se reduce a tamaños menores (mm) y se mantiene en suspensión junto con partículas de arena («lecho»). En ocasiones se añade al lecho un ciclón y el flujo es circulante, siendo arrastradas por el aire usado en la combustión sólo las partículas de ceniza.

- *Calderas de combustible pulverizado o lecho arrastrado.* El combustible se muele hasta tamaños típicamente menores de un milímetro, y se introduce en la caldera a través de quemadores junto con el aire de combustión. Las partículas se van quemando a lo largo de la caldera, y salen junto con los gases hacia las etapas de filtrado y limpieza.

Co-combustión: la biomasa se lleva a una caldera alimentada con carbón. La principal ventaja es el aprovechamiento de la estabilidad y eficiencia del conjunto de la caldera y la reducción de incertidumbres tanto en el comportamiento como en el suministro de la biomasa²³.

Pirolisis: es la descomposición de la materia prima de biomasa por el calor, también se conoce como desvolatilización, es endotérmico y produce de 75 a 90% de materiales volátiles en la forma de hidrocarburos líquidos y gaseosos, y carbón²⁴.

Los hidrocarburos volátiles y carbón son posteriormente convertidos en gas de síntesis en el segundo paso. Algunas de las reacciones más importantes que intervienen en esta etapa son las siguientes²⁵.

Reacciones Exotérmicas:

- Combustión {biomasa volátil /carbón} + O₂→ CO₂
- Oxidación Parcial {biomasa volátil /carbón} + O₂→ CO
- Metanización {biomasa volátil /carbón} + H₂→ CH₄
- Agua-Gas Shift CO + H₂O → CO₂ + H₂
- Metanización CO + 3H₂→ CH₄ + H₂O

Reacciones Endotérmicas:

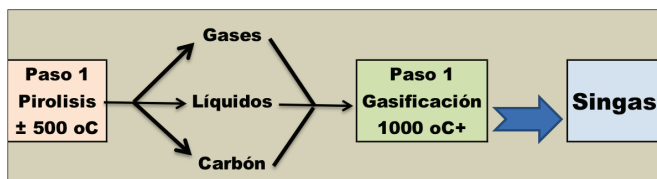
- Reacción de carbón de vapor {biomasa volátil /carbón} + H₂O → CO + H₂
- Reacción de Boudouard {biomasa volátil /carbón} + CO₂→ 2CO

Gasificación: es un término genérico cuya denominación recoge todos los procesos en los que se produce una combustión incompleta con defecto de oxígeno y en los que se producen los siguientes gases: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano e hidrocarburos de cadena pequeña, en proporciones diversas, según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso²⁶. La gasificación es un proceso termoquímico en el que se transforma un combustible sólido en uno gaseoso. El proceso está conformando por varios fenómenos complejos que van desde los mecanismos de transferencia de masa y energía en un sistema reactivo heterogéneo, derivando las etapas de secado y devolatilización del combustible, para dar paso a la oxidación de los volátiles y el carbón, con el consecuente cambio del diámetro de las partículas y las pérdidas de presión en el lecho²⁷. En el proceso de gasificación es necesario tener en cuenta el equilibrio termodinámico y químico, y todas las variables relacionadas con:

- Tipo de biomasa.
- Porcentaje de humedad
- Poder calorífico.

Las reacciones en la gasificación se llevan a cabo a temperaturas elevadas, 500-1400°C, y presión atmosférica elevada de hasta 33bar (480psi). El oxidante utilizado puede ser aire, oxígeno puro, vapor o una mezcla de estos gases. Las reacciones de la gasificación de la biomasa se realizan a través de un proceso de dos pasos pirolisis y gasificación (figura 2).

Figura 2. Etapas de la gasificación



Fuente: Autor del artículo

Debido a su mayor eficiencia y versatilidad, la gasificación es vista como una evolución necesaria en el desarrollo de sistemas de energía de biomasa. Esta tecnología ha sido probada principalmente en lecho fijo (Corriente ascendente y corriente descendente) y sistemas de reacción de lecho fluidizado, con menos información disponible acerca del potencial de los reactores de flujo arrastrado. Este último se beneficia de un diseño relativamente simple estructura mecánica y robustez frente a condiciones severas de gasificación, la inversión y los costos de operación son reducidos²⁸.

La gasificación de biomasa es una forma de conversión de energía que todavía se mantiene en etapa de investigación y se ha desarrollado con algunas aplicaciones en la generación de electricidad. La investigación sobre el tema ha estado centrada en la mejoría del diseño, modelación y evaluación de diferentes tipos de gasificadores. Las aplicaciones prácticas se han llevado a cabo fundamentalmente a través de instalaciones de pequeña y mediana potencia para la generación de energía eléctrica usando motores de combustión interna²⁹.

Digestión Anaerobia (DA): Este proceso se realiza por la acción de bacterias anaeróbicas (bacterias cuyo metabolismo se realiza en ausencia de oxígeno), estas bacterias se desarrollan muy bien a temperaturas hasta de 30°C, es un proceso en serie donde se degrada la materia orgánica en tres etapas fundamentales³⁰:

1. Hidrólisis-Acidogénesis.
2. Homoacetogénesis-acetogénesis.
3. Metanogénesis.

En esta etapas actúan diferentes poblaciones bacterianas: En la acidogénica están las formadoras de ácidos que emplean como materia prima hidratos de carbono, en la acetogénica están las bacterias formadoras de ácido acético las cuales pueden ser inhibidas por H₂, en la etapa metanogénica están las acetófilas y las hidrogenófilas que emplean ácido acético y monóxido de carbono e hidrogeno respectivamente³¹ y el producto de la DA es el biogás, que es una mezcla formada por metano (CH₄), Bióxido de carbono (CO₂), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH₂) y nitrógeno (N)³².

Fermentación: Una de las opciones para producir bioetanol es por fermentación a partir de materias primas ricas en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa, etcétera) de las frutas y vegetales como la caña de azúcar y la remolacha, los cereales (trigo, maíz, sorgo), los tubérculos (papas, yuca) y en general, materias provenientes de ligno-celulosas o de residuos orgánicos³³. Según la Agencia Internacional de Energía³⁴, el potencial de esta fuente de energía es considerable,

pues se calcula que el bioetanol podría sustituir un 25% de la gasolina utilizada como combustible en el año 2025. El biogás contiene entre 55 y 70% de CH₄ (tabla 2)³², el cual puede ser utilizado como una importante fuente energética en la combustión de motores, en turbinas o calderas utilizados en diferentes usos industriales.

Tabla 2: Características del biogás

Características	CH ₄	CO ₂	H ₂ -H ₂ S	Biogás 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	100
Valor Calórico MJ/m ³	35.8		10.8	21.5
Valor Calórico KCal/m ³	8600		2581	5140
Ignición % en aire	5-15			6-12

Selección de la tecnología de transformación

La selección de la tecnología más apropiada para realizar la transformación de los residuos de poda se puede hacer utilizando la herramienta denominada Análisis de Decisiones Multicriterio mediante el método denominado Proceso Analítico Jerárquico, AHP (Analytical Hierarchy Process)³⁵. Dicha metodología, permite construir un modelo jerárquico que representa el problema objeto de estudio, mediante criterios y alternativas planteadas inicialmente, para luego poder deducir, cual o cuales son las mejores alternativas y tomar una decisión final óptima. Con este proceso analítico jerárquico se pretende dividir una decisión compleja en un conjunto de decisiones simples, facilitando la comprensión y solución del problema propuesto³⁵.

CONCLUSIONES

Las tecnologías de transformación de la biomasa vegetal son variadas y requieren de infraestructuras robustas que permitan la eficiencia económica y ambiental del proceso. Colombia es un país con poco desarrollo en energías renovables (a excepción de la termohidráulica) y las políticas estatales no son claras así como son mínimos los incentivos para invertir en ellas, razón por la cual la empresa privada no le apuesta a inversiones tan altas en la implementación de tecnologías que permitan la producción de energía limpia.

El poco desarrollo de nuevas tecnologías es también un gran obstáculo para implementar procesos de transformación de residuos. Colombia es un país que se

caracteriza por una gran riqueza en residuos vegetales, que gracias a las investigaciones realizadas por los centros de Investigación se ha logrado caracterizar y en muchos casos aplicar diversas tecnologías de transformación a pequeña escala.

Se estima que en Colombia gracias a la riqueza de los recursos hídricos, a la suficiencia de fuentes fósiles de energía (Petróleo, carbón, etc.) y a la poca importancia que le dan los gobernantes a las energías renovables, no se evidenciara la implementación de las tecnologías de transformación de la riqueza que hay en estos recursos biomásicos y otras formas de energía renovable.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández, J. Energía De La Biomasa. En Energías renovables para el desarrollo. Thomson-Paraninfo, 2003.
2. Mota, C., Alcaraz-López, C., Iglesias, M., Martínez-Ballesta, M., Carvajal, M. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. España. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Región de Murcia, España (2009).
3. Arellano, J., De las Rivas, J. Plantas y cambio climático. Investigación y Ciencia. 2006; 42- 50. Disponible en <http://www.investigacionyciencia.es/files/4836.pdf>
4. López-Gonzalez, G., Phillips, O. L. Estudiando el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de inventarios forestales. Ecosistemas, 2012; 21(1-2):118-25.
5. Ministerio de Ciencia e Innovación. CIEMAT. Obtenido de Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. 2008.
6. Fundación CIRCE. Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca. Centro de Investigaciones de Recursos y consumos Energéticos. 2006.
7. Arroyo Ulloa, M., Mendoza Guerrero, P., Jiménez Zuloeta, W., Ruiz Coronado, W. Análisis de viabilidad de un sistema híbrido para la producción de vectores energéticos sostenibles. (Guzlop, Ed.) ECIPERU. Lima 2005; (2):2.
8. Lin, Yu-Chuan, and George W. Huber. "The critical role of heterogeneous catalysis in lignocellulosic biomass conversion." Energy & Environmental Science 2.1. 2009; 68-80.

9. Bastías, E., Díaz, M., Pacheco, C., Bustos, R., Hurtado, E.I. "Caracterización del maíz" Lluteño"(Zea mays L. tipo amylacea) proveniente del norte de Chile, tolerante a NaCl y exceso de boro, como una alternativa para la producción de bioenergía." *Idesia (Arica)* 29.3. 2011; 7-16.
10. Pejó, Tomás, María Elía. Bioetanol de paja de trigo: estrategias de integración de las etapas de proceso. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 2009.
11. Demirbas, A. (Combustion characteristics of different biomass fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*. Science. 2004; 30(2): 219-30.
12. Tena, Emilio Cerdá. Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE* 83.2012; 83:117-40.
13. Ramos Llorente, J J. La biomasa se abre camino entre las renovables. *Energética XXI*. 2013; 70-1.
14. Zeng, X., Yitai M, Lironga, L. Utilization of straw in biomass energy in China. *Renewable and Sustainable Energy*. Reviews. 2007; 11(5): 976-87.
15. Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., Duarte Ortega, M. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Bucaramanga: Ministerio de Minas y Energía. 2007.
16. Rivera González, D., Plata Martínez, L., Castro Molano, L., Guzmán Luna, C., Escalante Hernández, H. Aprovechamiento del subproducto sólido de la digestión anaerobia del bagazo de fique (*Furcraea macrophylla*) para el acondicionamiento de suelos. *REVISTA ION*. 2012; 25(1): 25-34.
17. Escalante Hernández, H; Orduz P, J; Viña López, F E. Potencial energético de la Biomasa Residual Vegetal (BRV) del sector arrocero en Colombia. Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM). 2012.
18. Tejeda, L., Quintana, J., Pérez, J., Young, H. Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2011; 14(1): 111-6.
19. Lora, E. S., & Andrade, R. V. Biomass as energy source in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009; 13(4): 777-88.
20. Dörmő, N., Bélafi-Bakó, K., Bartha, L., Ehrenstein, U., Gubicza, L. Manufacture of an environmental-safe biolubricant from fusel oil by enzymatic esterification in solvent-free system. *Biochemical Engineering Journal*. 2004; 21(3): 229-34.
21. Alemany, L. J., Larrubia, M. A., Herrera, C., García-Diéguez, M. Hacia la diversificación energética: Bioenergía. *Uciencia*, 2012; 10: 48-51.
22. Jiménez, S. Combustión de biomasa. Obtenido de Repositorio institucional Universidad de Malaga: (2012). Disponible en <http://www.energia2012.es/>
23. Cherubini, F. El concepto de biorrefinería: El uso de la biomasa en lugar de aceite para la producción de energía y productos químicos. *Conversión de Energía y Gestión*. 2010; 51: 1412-21.
24. Giraldo Rivera, O. D. Hidrógeno mediante reformado catalítico con vapor de Subproductos líquidos de Procesos Thermoconversion Biomasa. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2012.
25. Ciferno, J. P., Marano, J. J. Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production. National Energy Technology Laboratory. 2002.
26. García Rojas, M., Aguiar Trujillo, L., Arauzo, J., Sánchez, L. J. Gasificación catalítica de lodos de aguas residuales. *Ingeniería Mecánica*. 2005; 8(2): 15-22.
27. Pérez, J., Borge, D., Agudelo, J. Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico-experimentales. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 2010; 52: 95-107.
28. Hernández, J. J., Aranda, G., San Miguel, G., Bula, A. Gasificación of grapevine pruning waste an entrained-flow reactor: gas products, energy efficiency and gas conditioning alternatives. *Global NEST Journal*. 2010; 12(2): 215-27.
29. Lesme-Jaén, R., Martínez, J. D., Viera-Andrade, R., & Silva-Lora, E. E. Evaluación teórica experimental de un sistema avanzado gasificador de biomasa/motor recíprocante para la generación de electricidad (parte I). *Tecnología química*. 2011; 31(2): 53-63.
30. Torres Lozada, P. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*. 2012; 18: 115-29.
31. Arribas de Paz, R., González Rodríguez, C. A., Vázquez de Prada, J. Determinación del tiempo de residencia en el interior de un digestor. *Escuela Politécnica Superior*. 2005; 245-53.
32. Villanueva Hernandez, J. A., Nájera Aguilar, H. A., Gómez Ramos, J. M., Hernández Lárraga, T. G., Velasco Ortiz, A. F. Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las

excretas de ganado bovino. Lacandonia. 2011; 5(2): 149-58.

33. Da Costa O, O., Vázquez, H. J. Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production from agricultural residues. Ingeniería, investigación y tecnología, 2007; 8(4): 249-59.

34. AIE Agencia Internacional de Energía. (AIE) Agencia Internacional de la Energía. Disponible en <http://www.iea.org>.

35. Álvarez Alonso, M; Arquero Hidalgo, A; Martínez Izquierdo, E. Empleo del AHP (Proceso Analítico Jerárquico) incorporado en sig para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a una biblioteca. Cuadernos Geográficos, 2006; 39: 579 -95.