

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON VISTAS A SU APROVECHAMIENTO

CHARACTERIZATION OF AGROINDUSTRIAL RESIDUES WITH A VIEW TO ITS EXPLOITATION

Emir Cabrera Rodríguez^{1}, Vivian León Fernández²,
Aymeé de la Caridad Montano Pérez¹ y Daisy Dopico Ramírez²*

¹ Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE. Calle 114 No. 11901, Marianao 19390. Cuba.

² Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de azúcar, ICIDCA. Cuba-10, Calle 7 No. 604 e/ 4 y 6 CP 33 500, Pablo Noriega, Quivicán, Mayabeque, Cuba.

Recibido: Marzo 10, 2016; Revisado: Mayo 6, 2016; Aceptado: Junio 17, 2016

RESUMEN

Los residuos agroindustriales están considerados entre los recursos renovables más importantes para la obtención de productos de interés económico y social. En el presente trabajo se evalúan las potencialidades de uso de la cáscara de coco, la paja de la caña de azúcar y el meollo del bagazo de caña a partir de la caracterización química de los mismos. Para ello se determina el contenido de sólidos totales, cenizas, lignina, holocelulosa, extractivos, el pH de carga cero y los grupos ácidos y básicos totales de los materiales. Los resultados muestran que el porcentaje de lignina de la cáscara de coco ($42,30 \pm 1,03\%$) es elevado y considerablemente mayor que en el resto de los residuos, siendo un material promisorio para la obtención de productos químicos de alto valor agregado como compuestos fenólicos que sustituyen a los que se derivan del petróleo. La paja y el meollo presentan elevados porcentajes de holocelulosa de $61,1 \pm 1,0\%$ y $60,3 \pm 1,3\%$, respectivamente, lo que amerita su consideración como materias primas en la obtención de biocombustibles y la síntesis de compuestos químicos. Por otra parte, todos los residuos poseen mayor número de sitios ácidos, con predominio de grupos carboxilos e hidroxilos en la espectroscopia de infrarrojo (FTIR), por ende exhiben potencialidades para la biosorción de metales pesados y colorantes en disolución.

Palabras clave: composición química, residuos agroindustriales, revalorización.

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Emir Cabrera, Email: emir.cabrera@uca.es

ABSTRACT

Agroindustrial residues are considered one of the most important renewable resources to obtain products of economic and social interest. This study assesses the potential use of coconut husk, sugar cane straw and sugar cane bagasse marrow through their chemical characterization. For this, the total solid contents, the ash, lignin, holocellulose and extractive contents are determined, as well as the zero charge Ph and the total acid and basic groups of materials. Results show a large lignin percentage in coconut husk composition ($42.3 \pm 1.03\%$), which is significantly higher than that of the other residues. That is why this material is a promising feedstock to obtain high-added value chemical products like phenolic compounds, which can replace those derived from crude oil. Straw and marrow have high holocellulose percentages of $61.1 \pm 1.0\%$ and $60.3 \pm 1.3\%$, respectively, deserving attention as feedstock for biofuels production and chemical compound synthesis. On the other hand, all residues have higher number of acid sites with a predominance of carboxyl and hydroxyl groups according to infrared spectroscopy (FTIR). Therefore, all materials display potentialities for heavy metals and dissolving colorants biosorption.

Key words: chemical composition, agroindustrial residues, revaluation.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años ha crecido el interés por el uso de los residuos lignocelulósicos en diversos ámbitos. Esta tendencia tiene sus orígenes en el bajo costo y la elevada abundancia y disponibilidad de estos materiales a nivel mundial, unido a la necesidad de minimizar el deterioro medioambiental provocado por la disposición de los mismos. Las principales investigaciones han estado dirigidas a desarrollar tecnologías que los utilicen como materias primas en la producción de biocombustibles, pulpas, papel y productos químicos de nueva generación y alto valor agregado.

Entre los materiales prospectivos para estos fines están los residuos agroindustriales, los cuales están disponibles en una amplia diversidad alrededor del mundo, ya que son generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social (Sarkar et al., 2012). Aunque estos materiales suelen agruparse para diferenciarlos de otros residuos vegetales, las cantidades de los principales componentes estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosas) pueden variar considerablemente de un residuo a otro (Cabrera et al., 2014). Se conoce que la composición química de un determinado residuo depende de factores como la variedad, las características del terreno y los métodos de cultivo, cosecha y procesamiento industrial que sean empleados (Binod et al., 2010). Por ello, la búsqueda de oportunidades de aplicación para dichos materiales requiere del conocimiento de su composición química, las propiedades de sus componentes y los grupos funcionales que los constituyen. Partiendo de esta base pueden desarrollarse tecnologías más apropiadas para lograr una mayor efectividad en su aprovechamiento.

En los países subdesarrollados y en vías de desarrollo estos residuos son comúnmente abandonados en vertederos o reducidos a cenizas, provocando la contaminación del entorno (León y col., 2013). Por eso puede afirmarse que son muy poco explotadas las

amplias posibilidades de aplicación de estos materiales y es pobre el desarrollo de la agroindustria en este sentido, siendo insuficiente la revalorización de la biomasa. Esta investigación establece una comparación entre las composiciones químicas de la paja de caña, la cáscara de coco y el meollo del bagazo de caña, evaluándose sus potencialidades de uso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos agroindustriales estudiados en este trabajo provienen del procesamiento de la caña de azúcar y el fruto del cocotero pertenecientes a variedades cultivadas en Cuba. La siguiente tabla resume la identidad de cada material.

Tabla 1. Identificación de los residuos agroindustriales

<i>Residuo</i>	<i>Constituyentes principales</i>	<i>Procedencia</i>	<i>Variedad</i>
Cáscara de coco	Mesocarpio seco del fruto del cocotero	“Finca la Pastora”, Güira de Melena	Indio Rojo de Sabana
Paja de caña	Hojas secas de la caña de azúcar	Central azucarero “Comandante Manuel Fajardo”	C 87-51
Meollo de bagazo	Residuo no fibroso del bagazo de la caña de azúcar	Central azucarero “Comandante Manuel Fajardo”	C 87-51

Las recolecciones de la paja y la cáscara se efectúan el mismo día del corte de la caña de azúcar y la cosecha del coco seco, respectivamente. El meollo se obtiene por desmedulado en suspensión del bagazo de la caña de azúcar, cuando este último se emplea en la producción de papel y derivados químicos.

Los materiales empleados se someten a un secado natural durante 36 h. Posteriormente se efectúa la molienda en un molino de cuchillas (WONDER MAX, 300 W). Finalmente se realiza una operación de tamizado para separar la fracción de partículas de tamaños entre 180 μm y 850 μm , la cual es utilizada en todos los experimentos.

El contenido de sólidos totales en las materias primas se determina utilizando la técnica tradicional de secado en estufa de convección a 105 °C (Sluiter et al., 2008a). El contenido total de materia inorgánica se establece calcinando 1 - 2 g de material en un horno mufla (CARBOLITE, 1100W). La calcinación se efectúa utilizando el programa de incremento gradual de temperatura sugerido en la bibliografía (Sluiter et al., 2008b). La determinación de materiales no estructurales se realiza siguiendo el procedimiento analítico “Determinación de extractivos en la biomasa” (Sluiter et al., 2008c), empleando 190 mL de etanol en un equipo de extracción Soxhlet que efectúa 12 sifonadas en una hora. Los contenidos de lignina soluble e insoluble en ácido se determinan de acuerdo con el procedimiento analítico “Determinación de carbohidratos estructurales y lignina en la biomasa” (Sluiter et al., 2011). Para ello, la fracción soluble se mide mediante espectrofotometría ultravioleta-visible (RAYLeigh) a una longitud de onda de 320 nm. El contenido de holocelulosa se determina mediante el método gravimétrico desarrollado en la bibliografía (Rowell et al., 1997).

La metodología empleada para determinar los sitios ácidos y básicos totales se reporta en la bibliografía (De-Oliveira-Brito et al., 2010). La determinación del punto de carga

cero (pH_{cc}) se realiza según el procedimiento reportado en la bibliografía (Nezamzadeh-Ejhieh y Kabiri-Samani, 2013). Los espectros se registran en el rango de 4000-400 cm⁻¹, empleando un espectrofotómetro FT-IR Bruker Vector 32. Los resultados se reportan en porcentaje másico en base seca y los ensayos se realizan como mínimo por duplicado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido de sólidos totales, cenizas y extractivos

El porcentaje de sólidos totales de los materiales preparados fue del 92,01 ± 0,13%, 91,82 ± 0,21% y 91,05 ± 0,11% para la paja de caña, la cáscara de coco y el meollo, respectivamente. Las operaciones de secado y molienda de los residuos facilitan la reducción de la humedad, hasta valores lo suficientemente bajos para impedir su interferencia con otros análisis (Sluiter et al., 2011). La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para las composiciones de cenizas y extractivos.

Tabla 2. Composición de cenizas y extractivos

<i>Residuo</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>Extractivos (%)</i>
Cáscara de coco	6,89 ± 0,02	14,70 ± 0,51
Meollo de bagazo	4,00 ± 0,02	1,70 ± 0,35
Paja de caña	6,99 ± 0,02	9,28 ± 0,23

El contenido de cenizas obtenido en la cáscara de coco es similar al reportado por Tejano (1985). Sin embargo, este valor resulta inferior a los alcanzados por otros autores (Ewansiha et al., 2012; Singh et al., 2013). La paja de caña presenta un contenido de cenizas próximo a los informados en (León y col., 2013). Los residuos investigados contienen porcentajes de cenizas similares y relativamente bajos, lo que favorece la separación de los componentes estructurales y la producción de azúcares monoméricos en medio ácido. Se conoce que elevadas concentraciones de cenizas pueden provocar un aumento de pH durante la hidrólisis ácida o el pretratamiento hidrotérmico, lo que implicaría un aumento de la temperatura y un alargamiento del tiempo para lograr los efectos deseados en estos procesos (Martín et al., 2006).

El porcentaje másico más alto de extractivos corresponde a la cáscara de coco, superando a la paja de caña en un 5,42% y al meollo en un 13%. Este resultado también es ligeramente superior a los reportados por (Ewansiha et al., 2012; Singh et al., 2013) para este material, lo que probablemente se deba a la mayor efectividad del método de extracción empleado en esta investigación. En la paja de caña este resultado es similar al alcanzado por Moriya (2007). De los tres materiales, el meollo posee el menor contenido de extractivos y cenizas, arrojando valores análogos a los reportados para el bagazo de caña (Gastón y col., 2000). Las diferencias encontradas en los contenidos de cenizas y extractivos respecto a los reportados en la literatura pueden estar relacionadas con el empleo de variedades de coco y caña diferentes a las utilizadas en esta investigación, pues los autores de estos trabajos no proporcionan esta información.

3.2. Contenidos de lignina y holocelulosa

Las determinaciones de lignina y holocelulosa se llevan a cabo en los materiales libres de extractivos. La figura 1 muestra los porcentajes de lignina total y holocelulosa obtenidos en los materiales estudiados.

La cáscara de coco presenta un porcentaje de lignina del $42,30 \pm 1,03\%$, superior al existente en el meollo y la paja que fueron del $30,00 \pm 0,56\%$ y $19,70 \pm 0,23\%$, respectivamente. El porcentaje de lignina obtenido en la cáscara de coco es considerablemente elevado y se encuentra entre los reportados por (Singh et al., 2013 y Ding et al., 2012). El contenido de lignina presente en la paja de caña es intermedio entre el 14,11% y 25,8% alcanzados por (León y col., 2013 y Costa et al., 2013), respectivamente. El meollo de bagazo tiene valores similares a los reportados para el bagazo de caña (Gastón y col., 2000).

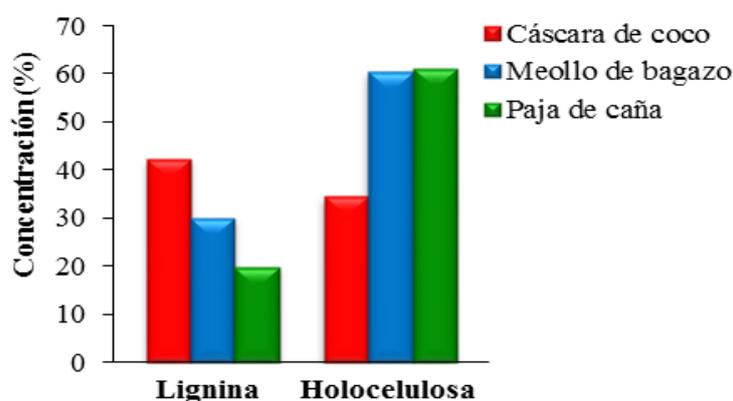


Figura 1. Contenidos de lignina y holocelulosa

La lignina es considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial por sus variadas aplicaciones, entre las que se destacan la síntesis de lignosulfonatos y de productos químicos de alto valor añadido como vainillina, cresoles y catecoles (Chávez y Domine, 2013). El porcentaje de lignina de estos residuos, unido a la diversidad de utilidades que posee este polímero, apunta hacia su posible aprovechamiento. Por otra parte, el elevado porcentaje de lignina ha sido relacionado por otros investigadores con una mayor resistencia del material a ser digerido, por ende mayor severidad de los procesos requeridos y menor rendimiento de azúcares (Cabrera et al., 2015). Teniendo en cuenta estos aspectos, en la cáscara de coco resulta prioritario el aprovechamiento de la lignina en comparación con las tecnologías que emplean directamente los carbohidratos.

El porcentaje de holocelulosa en la paja de caña es del $61,1 \pm 1,0\%$, en la cáscara de coco del $34,4 \pm 1,5\%$ y en el meollo del $60,3 \pm 1,3\%$ (Figura 1). El resultado obtenido en la cáscara de coco es similar al 38,6% reportado por (Ding et al., 2012). En cuanto a la paja de caña, el valor alcanzado es análogo a los que aparecen en la bibliografía consultada para este tipo de material (Moriya, 2007; Costa et al., 2013); resultados semejantes se pueden apreciar en el caso del meollo con respecto al bagazo de caña (Gastón y col., 2000).

La cáscara de coco presenta un porcentaje de carbohidratos relativamente bajo, lo que confirma el aprovechamiento de este componente de forma secundaria con un enfoque

de biorefinería. Sin embargo, la paja y el meollo tienen concentraciones de holocelulosa similares y se perfilan como importantes fuentes de azúcares, permitiendo considerarlos fundamentalmente en otras tecnologías como las producciones de biocombustibles y de productos químicos de alto valor como: glicerol, furfural, sorbitol, polímeros, etcétera.

3.3. Grupos ácidos y básicos totales. pH de carga cero

La cuantificación de grupos ácidos y básicos totales, así como la determinación del pH_{cc} en dichos materiales constituyen parámetros indispensables para realizar una evaluación preliminar de las potencialidades de aplicación como biosorbentes. Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de estos ensayos.

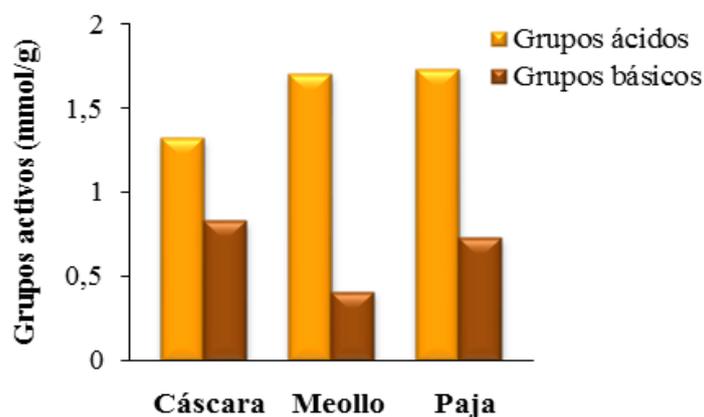


Figura 2. Cuantificación de grupos ácidos y básicos totales

Todos los materiales presentan mayor contenido de sitios ácidos que de básicos. Como la mayoría de los grupos activos implicados en la biosorción serían ácidos, esto significa que deben resultar más eficientes para remover especies catiónicas que aniónicas. De hecho, la utilización de materiales de origen vegetal como adsorbentes no convencionales está siendo cada vez más considerada como una alternativa viable para la remoción de metales pesados desde aguas residuales (Cheng et al., 2016; Yang y col., 2016).

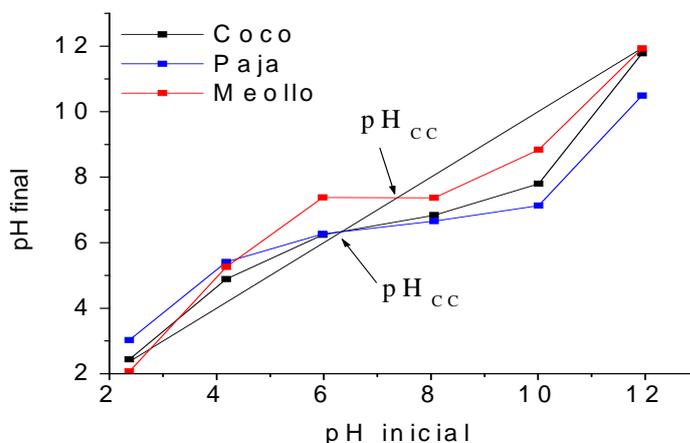


Figura 3. Puntos de carga cero de los residuos

Vieira y colaboradores (2010) reportaron un punto de carga cero de 6,45 para el mesocarpio de coco que se aproxima notablemente al valor promedio de 6,36 determinado en el presente estudio para dicho material. Este parámetro en la paja y el meollo alcanzó valores promedio de 6,29 y 7,29, respectivamente. Para valores de pH superiores al pH_{cc} identificado en cada caso, la superficie del material estará más desprotonada. Por ende, habrá mayor número de grupos activos disponibles para la atracción de cationes, y viceversa.

3.4. Espectroscopía infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR)

En el estudio de las características de los sólidos empleados como biosorbentes se han podido identificar grupos químicos que podrían contribuir al proceso de retención de cationes. Entre estos se pueden citar los siguientes: hidroxilo, carbonilo, carboxilo, sulfhidrilo, tioéter, sulfonato, amina, imina y amida (Elizalde-González et al., 2007).

Al analizar los espectros obtenidos en esta investigación (figura 4), es posible asignar los picos a los grupos funcionales presentes en los materiales, de acuerdo con sus respectivos números de onda (cm^{-1}). La banda amplia e intensa en $3330 - 3340 cm^{-1}$ corresponde al estiramiento del grupo hidroxilo debido al enlace de hidrógeno inter e intramolecular de compuestos poliméricos, tales como alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos, típicos de la celulosa y la lignina.

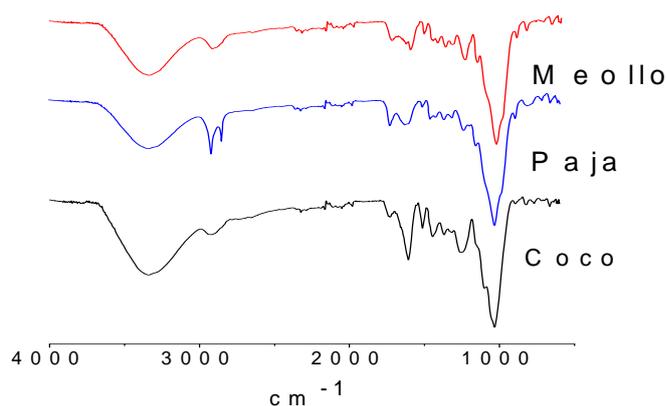


Figura 4. Espectro FTIR de los residuos

El pico observado en $1720 - 1730 cm^{-1}$ es producto de la vibración de estiramiento del enlace CO debido a grupos carboxilo no iónicos ($-COOH$) y puede ser asignado a los ácidos carboxílicos o sus ésteres. Las vibraciones asimétricas y simétricas de los grupos carboxílicos iónicos ($-COO^-$) aparecen aproximadamente en 1600 y $1440 cm^{-1}$, respectivamente. Además, la señal en $1600 cm^{-1}$ se corresponde con las vibraciones del doble enlace $C=C$ del anillo aromático en la lignina. Por otra parte, la señal intensa en $1033 cm^{-1}$ es característica del esqueleto celulósico. Espectros similares a los presentados en este trabajo se han reportado por (Shen et al., 2010).

Estos grupos tienen la capacidad de secuestrar metales pesados mediante la sustitución de iones H^+ por iones metálicos en disolución o por donación de un par de electrones de manera que se formen complejos metálicos, acorde a lo reportado por (Ho y Ofomaja, 2006). Teniendo en cuenta los resultados que arrojan los estudios de grupos ácidos y

básicos totales, pH de carga cero y FTIR se propone investigar la potencialidad de estos materiales en la remoción de especies cargadas positivamente.

4. CONCLUSIONES

1. La selección de la biomasa es la primera etapa para determinar el esquema tecnológico de una biorefinería.
2. La composición química de los residuos agroindustriales contribuye a establecer sus potencialidades de uso como materias primas o biosorbentes en un determinado proceso industrial.
3. Los materiales lignocelulósicos investigados pueden ser considerados como adsorbentes prospectivos para el saneamiento de aguas contaminadas.
4. Las proporciones de los principales componentes permiten predecir mayores beneficios en el aprovechamiento de la lignina para la cáscara de coco, mientras que de los carbohidratos en la paja de caña y el meollo de bagazo.

REFERENCIAS

- Binod, P., Sindhu, R., Singhanía, R.R., Vikram, S., Devi, L., Nagalakshmi, S., Kurien, N., Sukumaran, R.K., Pandey, A., Bioethanol production from rice straw: an overview., *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 13, Jul., 2010, pp. 4767-4774.
- Cabrera, E., Muñoz, M. J., Martín, R., Caro, I., Curbelo, C., Díaz, A. B., Alkaline and alkaline peroxide pretreatments at mild temperature to enhance enzymatic hydrolysis of rice hulls and straw., *Bioresource Technology*, Vol. 167, Sept., 2014, pp.1-7.
- Cabrera, E., Muñoz, M. J., Martín, R., Caro, I., Curbelo, C., Díaz, A. B., Comparison of industrially viable pretreatments to enhance soybean straw biodegradability., *Bioresource Technology*, Vol. 194, Oct., 2015, pp. 1-6.
- Chávez, M., Domine, M.E., Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial., *Avances en Ciencias e Ingeniería*, Vol. 4, No. 4, Oct.-Dic., 2013, pp. 15-46.
- Cheng, Q., Huang, Q., Khan, S., Liu, Y., Liao, Z., Li, G., Ok, Y. S., Adsorption of Cd by peanut husks and peanut husk biochar from aqueous solutions., *Ecological Engineering*, Vol. 87, Feb., 2016, pp. 240-245.
- Costa, S. M., Mazzola, P. G., Silva, J. C. A. R., Pahl, R., Pessoa, A. J., Costa, S.A., Use of sugar cane straw as a source of cellulose for textile fiber production., *Industrial Crops and Products*, Vol. 42, Mar., 2013, pp. 189-194.
- De-Oliveira-Brito, S. M., Andrade, H. M. C., Soares, L. F., De Azevedo, R. P., Brazil nut shells as a new biosorbent to remove methylene blue and indigo carmine from aqueous solutions., *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 174, No. 1-3, Feb., 2010, pp. 84-92.
- Ding, T. Y., Hii S.L., Ong, L.G.A., Comparison of pretreatment strategies for conversion of coconut husk fiber to fermentable sugars., *BioResources*, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 1540-1547.
- Elizalde-González, M.P., Mattusch, J., Peláez, Cid, A.A., and Wennrich, R., Characterization of adsorbent materials prepared from avocado kernel seeds: Natural, activated and carbonized forms., *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 78, No. 1, Jan., 2007, pp. 185-193.
- Ewansiha, C.J., Ebhoaye, J.E., Ekebafé, I.O., Ehigie, C., Proximate and mineral composition of coconut (*Cocos Nucifera*) shell., *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, Vol. 13, No. 1, Nov., 2012, pp. 57-60.

- Gastón, C., Bambanaste, R., Correa, J. L., Alfonso, G., Herryman, M., Bagazo. En: Manual de los derivados de la caña de azúcar., 3ra edición, Editorial ICIDCA, Imprenta MINAZ, Cuba, 2000, pp. 31-43.
- Ho, Y. S., Ofomaja, A. E., Biosorption thermodynamics of cadmium on coconut copra meal as biosorbent., *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 30, No. 2, Jun., 2006, pp. 117-123.
- León, T. S., Dopico, D., Triana, O., Medina, M., Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad., *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, Vol. 47, No. 2, May.-Agos., 2013, pp. 13-22.
- Martín, C., López, Y., Plasencia, Y., Hernández, E., Characterization of agricultural and agro-industrial residues as raw materials for ethanol production., *Chem. Biochem. Eng. Q.*, Vol. 20, No. 4, 2006, pp. 443-447.
- Moriya, R. Y., Use of microbial xylanases and laccases in the bleaching of organosolv pulps from sugarcane straw and study of the cellulosic derivatives obtained., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Universidad de Sao Paulo, Engineering School of Lorena, Brazil, 2007.
- Nezamzadeh-Ejhi, A., Kabiri-Samani, M., Effective removal of Ni(II) from aqueous solutions by modification of nano particles of clinoptilolite with dimethylglyoxime., *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 260, Sept., 2013, pp. 339-349.
- Rowell, R. M., Young, R. A., Rowell, J. K., Paper and composites from agro-based resources., Editorial CRC Press, Lewis Publisher, New York, 1997, pp. 83-134.
- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., Aikat, K., Bioethanol production from agricultural wastes: an overview., *Renewable Energy*, Vol. 37, No. 1, Jan., 2012, pp. 19-27.
- Shen, Y. S., Wang, S. L., Huang, S. T., Tzou, Y. M., Huang, J. H., Biosorption of Cr(VI) by coconut coir: Spectroscopic investigation on the reaction mechanism of Cr(VI) with lignocellulosic material., *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 179, No. 1-3, Jan., 2010, pp. 160-165.
- Singh, A., Singh, S., Kumar, A., Study of mechanical properties and absorption behavior of coconut shell powder-epoxy composites., *International Journal of Materials Science and Applications*, Vol. 2, No. 5, Agos., 2013, pp. 157-161.
- Sluiter, A., Hames, B., Hyman, D., Payne, C., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Wolfe, J., Determination of total solids in biomass and total dissolved solids in liquid process samples., NREL/TP-510-42621, March, 2008a, pp. 1-6.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Determination of ash in biomass., NREL/TP-510-42622, Jan., 2008b, pp. 1-5.
- Sluiter, A., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Determination of extractives in biomass., NREL/TP-510-42619, Jan., 2008c, pp. 1-9.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D., Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass., NREL/TP-510-42618, Jul., 2011, pp. 1-15.
- Tejano, E.A., State of the art of coconut coir dust and husk utilization: general overview., *Philippine Journal of Coconut Studies*, Vol. 10, No. 2, Dec., 1985, pp. 4-11.
- Vieira, A. P., Santana, S. A. A., Bezerra, Z. W., Silva, H. A., de Melo, J. C., da Silva, F., Airoidi, C., Copper sorption from aqueous solutions and sugar cane spirits by chemically modified babassu coconut (*Orbignya speciosa*) mesocarp., *Chemical Engineering Journal*, Vol. 161, No. 1-2, Jul., 2010, pp. 99-105.
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., Ming, Z., Mono/competitive adsorption of Arsenic(III) and Nickel (II) using modified green tea waste., *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 60, Mar., 2016, pp. 213-221.