

Aprovechamiento de residuos orgánicos EN DISTINTOS CULTIVOS DE ECUADOR

Luis Roca-Pérez ^{1,2}

Diego León Tapia³

José Valdemar Andrade Cadena³

Rafael Boluda Hernández²

Autor para correspondencia: Luis Roca-Pérez, Becario Prometeo/Senescyt, Pontificia Universidad Católica de Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Ibarra-Ecuador. E-mail:luis.roca@uv.es

¹ Becario Prometeo/Senescyt, Pontificia Universidad Católica de Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícola y Ambientales, Ibarra-Ecuador.

² Universitat de València, Departamento de Biología Vegetal, Valencia-España.

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Escuela de Ciencias Agrícola y Ambientales, Ibarra-Ecuador.

Manuscrito recibido el 30 de julio de 2015 Aprobado tras revisión el 8 de junio de 2017

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los datos de producción de los principales cultivos de Ecuador y los residuos generados, así como los posibles usos que se pueden dar a estos últimos con el fin de conocer algunas alternativas para su valorización. La estimación del residuo generado se realizó con los datos disponibles de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012) para la producción por cultivo y los que se encuentran en la bibliografía consultada. Las alternativas de valorización y la caracterización de los residuos proceden de una búsqueda bibliográfica realizada en la Web of Science para el periodo 1997-2014.

Palabras clave: producción, cultivos, residuos, valorización, reciclaje, Ecuador.

ABSTRACT

The present work shows the production data of the main crops of Ecuador and the waste generated, as well as the possible uses that can be given to these residues in order to know some alternatives for their recovery. The estimation of the generated residue was carried out with data available from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2012) for crop production and those found in the bibliography used. The alternatives of valorization and the characterization of the residues come from information from the Web of Science for the period 1997-2014.

Keywords: production, crops, waste, recovery, recycling, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por la agricultura constituye un aspecto básico a considerar para mejorar la viabilidad económica, el medioambiente y el propio sistema productivo. En el caso de los sistemas agrícolas intensivos, la necesidad de disponer de procesos que permitan gestionar de forma adecuada los residuos generados, es más acuciante debido a que usualmente el ritmo productivo es más elevado que en los extensivos, y su integración directa en el sistema agrícola es limitada.

El residuo de un cultivo se define como la parte de la planta no comestible que queda en el campo después de la cosecha. Algunos investigadores también incluyen como tales restos a los que se generan en las plantas de embalaje de las cosechas, o aquellos que se descartan tras el procesamiento del cultivo (Lal, 2005). En el presente trabajo, para calcular la cantidad de residuos generados por los cultivos, se ha multiplicado la producción anual (FAO, 2012), por los valores RPR (siglas derivadas del término anglosajón relación “residue-production-ratio”). El RPR indica el peso de residuo generado por unidad de cultivo producido. Uno de los primeros trabajos en los que se recogen los RPR de distintos cultivos es el realizado por Koopmans y Koppejan (1997); más recientemente en un trabajo realizado por Eisentraut (2010) para la Agencia Internacional de la Energía, se presentan los RPR de la mayoría de cultivos agrícolas. Los datos de los residuos del procesamiento se indican para algunos cultivos cuyos tratamientos están estandarizados globalmente, como corresponde al caso de los cultivos de la caña de azúcar, arroz y maíz. No obstante, es necesario indicar que la proporción entre el residuo generado y el producto cosechado puede variar en función de un conjunto de factores diversos (Eisentraut, 2010). Así, la variabilidad de los valores de RPR ha dado lugar a que diferentes estudios muestren variaciones a la hora de estimar la cantidad de residuo producido para un mismo cultivo (Koopmans & Koppejan, 1997; Lye & Bilsborrow, 2013; Jingura & Matengaifa, 2008; Fischer et al., 2010). Hay que ser conscientes que los resultados de los residuos generados son aproximaciones y por tanto para llegar a conocer el valor real de cada región dentro de un país hay que hacer estudios específicos.

Carbajal et al. (2013) pusieron de relieve el gran potencial que tiene Ecuador en la producción de etanol procedente de los residuos lignocelulósicos producidos cada año en los cultivos de banana, aceite de palma, caña de azúcar, etc.

El objetivo del presente trabajo es aproximarnos a la estimación de los residuos generados en los principales cultivos de Ecuador, así como describir las alternativas para el tratamiento de los mismos que se encuentran en los artículos científicos publicados recientemente.

CULTIVOS Y RESIDUOS GENERADOS

En la siguiente tabla (Tabla 1) se observa la producción y residuos generados por los principales cultivos de Ecuador para el año 2012. El principal cultivo es la caña de azúcar como en otros países de condiciones climáticas similares.

Cultivo	Producción (t) ¹	RPR ²	Producción de residuos (t)
Caña de Azúcar	7378922	0,25 (Lal, 2005)	1,8x10 ⁶
Bananos	7012244	2,4 (Tock y col. 2010)	1,7x10 ⁷
Arroz	1565535	1,5 (Lal, 2005)	2,3x10 ⁶
Maíz	1329532	2 (Lye y Bilsborrow, 2013)	2,6x10 ⁶
Papas	285100	0,5 (Fischer y col., 2010)	1,4x10 ⁵

Tabla 1:
Producción (t/año) de cultivos en Ecuador

Nota.¹Fuente: FAO, 2012.²Entre paréntesis se indica la referencia de donde se ha obtenido el RPR.

MÉTODOS DE RECICLAJE Y VALORIZACIÓN

Caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

El residuo de la cosecha de la caña de azúcar está constituido por las ramas, hojas y parte de los tallos de la caña que no se utilizan en el proceso de extracción del azúcar. Otro de los residuos que también se genera en el proceso industrial es el bagazo, material procedente de la molienda de los tallos de caña después de ser extraído el jugo. La cachaza, lodo de filtros o torta de filtro es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, que se obtiene durante el proceso de clarificación del jugo de caña.

La caña de azúcar es utilizada para la alimentación animal, como fertilizante o para la producción de bioplásticos; las cenizas de la quema de las hojas y tallo, así como el bagazo pueden ser utilizados como bio-cemento (Hosseini et al., 2011). También se ha estudiado el uso del bagazo como material para la obtención de biohidrógeno mediante fermentación (Singh, 2007).

El residuo procedente de la cosecha de azúcar se suele quemar provocando graves consecuencias medioambientales y para la salud humana. Una alternativa para su valoración es la obtención de bioetanol (Dason & Boopathy, 2007; Carvajal et al., 2013).

En la Tabla 2 se muestran las características de los residuos del cultivo de la caña y del bagazo. Ambos presentan una elevada relación carbono y nitrógeno (C/N), lo que indica que, para ser sometidos a compostaje, deben mezclarse con otro residuo complementario tal como el estiércol (con alto contenido en nitrógeno) para ajustar dicha relación a valores de 25-30 C/N, adecuados para el proceso (Goyal et al., 2005). El empleo del compostaje seguido de un vermicompostaje inoculando microorganismos a distintas mezclas y proporciones de residuos de cosecha, bagazo y cachaza de la caña de azúcar, ha sido realizado por Kumar et al. (2010).

Cultivo	Bagazo	Cachaza	Residuo de cosecha (Tallos y hojas)
pH (1:10 w/v)	4,74	7,18	6,95

Tabla 2:
Características del
residuo del cultivo de
la caña de azúcar,
bagazo y cachaza

*CE (dSm-1)	0,33	2,96	0,63
Carbono orgánico (%)	37,98	32,60	36,00
Nitrógeno (%)	0,44	1,20	0,45
C/N	82,00	27,17	84,00
P (%)	0,06	1,15	0,17
K (%)	0,14	0,62	0,46
Ca (%)	0,70	4,14	0,24
Mg (%)	0,30	1,10	0,18
Fenoles totales (mg 100 g-1)	62,00	23,30	90,00

Nota. Fuente *CE:
Conductividad Eléc-
trica. Fuente: Satisha
& Devarajan, 2007.

El residuo de la caña también se ha utilizado como material estructurante para el vermicompostaje de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales (Suthar, 2009), digestatos generados en las plantas de biogás (Suthar, 2010), así como, con estiércol bovino (Bansal y Kapoor, 2000).

Arroz (*Oryza spp.*)

El principal residuo generado por el cultivo del arroz en el campo es la paja (tallos y hojas de la planta), mientras que la cascarilla es el residuo agroindustrial generado en el proceso de limpieza, tamizado y molienda del grano. La ceniza de la cáscara del arroz se ha empleado como sustituto del cemento (Madurwar et al., 2013) y en la preparación de pigmentos para los esmaltes cerámicos (Andreola et al., 2012).

Recientemente, la biomasa generada por la paja de arroz y la cascarilla se ha utilizado para la obtención de energía por distintos métodos: combustión directa, gasificación, pirólisis, digestión anaerobia con obtención de metano o hidrógeno y producción de bioetanol mediante fermentación (Chandra et al., 2012; Cheng et al., 2012; Lim et al., 2012a). Ambos residuos también se han empleado para la obtención de carbono activo y absorbentes (Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Foo & Hameed, 2009).

La paja de arroz ha sido ampliamente utilizada como material coadyuvante para el compostaje de diferentes residuos. Así, se ha mezclado con rocas ricas en minerales fosforados y sulfato amónico (Zayed & Abdel-Motaal, 2005), estiércol de porcino (Zhu et al., 2004), estiércol de aves de corral (Abdelhamid et al., 2004), estiércol de vacuno (Li et al., 2008), lodos de EDAR (Iranzo et al., 2004; López & Boluda, 2008; Roca-Pérez et al., 2009), residuos de soja y rocas fosfatadas (Rashad et al., 2010) o deyecciones ganaderas (Hosseini & Aziz, 2013).

La cascarilla del arroz se ha empleado como material estructurante mezclándola con estiércol de ave y serrín (Leconte et al., 2009), residuos alimentarios (Chang & Chen, 2010), estiércol de vacuno (Liu et al., 2011) y estiércol de ave, pulpa de manzana, corteza de roble y biochar o carbón vegetal (Jindo et al., 2012). Así como en vermicompostaje con las frutas desechadas de los mercados como banana, melón y papaya en proporción (Lim et al., 2012b).

En la Tabla 3 se muestran algunas de las propiedades físicas y químicas de la paja y la cascarilla del arroz.

	Paja de arroz ¹	Cascarilla del arroz ²
Humedad (%)	10,0-15,2	9,1
pH (1:10 w/v)	8,4-8,6	6,3
3CE (dS m ⁻¹)	6,95	-
Materia orgánica total (%)	78,1-85,0	-
Carbono orgánico (%)	32-36	39,35
Nitrógeno (%)	0,6-1,3	0,97
C/N	48-58,3	40

Tabla 3:

Características de los residuos del cultivo del arroz

Nota.

³CE: Conductividad Eléctrica.

Fuente:

¹Iranzo et al. (2004); Roca et al. (2009); ²Liu et al. (2011)

Banana (*Musa spp.*)

El residuo del cultivo y procesamiento de la banana está compuesto principalmente por restos de pseudotallo, hojas y bananas rechazadas. El pseudotallo se deja normalmente en el suelo de la plantación como abono orgánico o se mezcla con frutos rechazados para preparar alimentos para el ganado. Cuando este residuo se vierte de forma incontrolada, se descompone anaeróbicamente produciendo gases de efecto invernadero y malos olores con el consiguiente impacto ambiental negativo (Tock et al., 2010).

Se han estudiado diversas opciones de reciclado de los residuos de este cultivo. Así, se ha evaluado su posible aplicación en la obtención de pulpa de papel (Tock et al., 2010; Rosal et al., 2012), fibra textil y cuerdas (Tock et al., 2010), etanol (Carvajal et al., 2013) y energía (Jingura & Matengaifa, 2008; Tock et al., 2010; Rosal et al., 2012).

Los residuos del cultivo y procesado de la banana también se han utilizado para llevar a cabo experiencias de compostaje. Formowitz et al. (2007) realizaron estudios de inoculación de microorganismos a pilas de compostaje de restos de frutos y tallos del cultivo de la banana con serrín, evaluando el efecto de la adición de los microorganismos. Kalemelawa et al. (2012) realizaron experimentos de compostaje y vermicompostaje mezclando cáscaras de bananas con estiércol de vaca, gallinaza y lombrices, comparándolo con el proceso en una pila construida sólo

con peladuras de banana. Los resultados mostraron que la descomposición y mineralización de dicho residuo fue más rápida cuando se mezcló con gallinaza.

La Tabla 4 muestra las principales características a tener en cuenta para el compostaje de este residuo.

Tabla 4:
Características del residuo de hojas y pseudotallo del cultivo de la banana

Fuente:
Rosal et al. (2012).

	Experimental
Carbono (%)	39,67
Hidrógeno (%)	5,65
Nitrógeno (%)	1,44
Azufre (%)	0,05
Celulosa (%)	55,48
Lignina (%)	22,25
Ceniza (%)	15,35

Maíz (*Zea mays*)

Los residuos del cultivo del maíz son principalmente los tallos y hojas de la planta del maíz y la mazorca procedente del tratamiento industrial para la obtención del grano. Estos residuos se pueden valorizar para obtener etanol (Sarkar et al., 2012), metano (Chandra et al., 2012), biodiesel y enzimas (Arvanitoyannis & Tserkezou, 2008), biohidrógeno (Bala-Amutha & Murugesan, 2013) y carbono activo (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). También se han utilizado como materiales para mejorar la eficiencia energética de las construcciones (Madurwar et al., 2013), como fibra reforzante (Jarabo et al., 2013), como adsorbentes de contaminantes de las aguas (Bhatnagara & Sillanpää, 2010) y como materiales para compostaje (Jiang et al., 2013). En la Tabla 5 se muestran algunas características de estos residuos.

Tabla 5:
Características físicas y químicas de los residuos del cultivo y procesado del maíz

Nota.
Tomada de ¹ Arvanitoyannis & Tserkezou (2008); ² Boluda et al. (2012)

	Tallos y hojas
Cenizas (%)	0,9 ¹
C(%)	44 ¹ - 42 ²
N (%)	0,9 ¹ - 1,0 ²
C/N	49 ¹ - 42 ²
Celulosa (%)	50 ¹

Los residuos del cultivo de maíz se han compostado exitosamente con distintos materiales como excrementos de cerdo (Guo et al., 2012; Jiang et al., 2013), lodos de depuradora (Xiong et al., 2010; Kang et al., 2011), y con tierras procedentes del blanqueo de aceites y lodos de plantas de refinado del aceite (Piotrowska-Cyplik et al., 2013). Guo et al. (2012) estudiaron la influencia de la relación C/N, aireación y humedad en el compostaje de excrementos de cerdo

y los tallos y hojas del cultivo del maíz. Los resultados mostraron que el grado de aireación influye en el grado de estabilidad del compost, mientras que la relación C/N influyó sobre la madurez del compost.

Patata (*Solanum tuberosum*)

El residuo que procede del cultivo de la patata está constituido por la parte aérea de la planta (tallos y hojas) y principalmente por las peladuras generadas en su procesado y las patatas desechadas durante el proceso de comercialización. Estos residuos han sido valorizados por distintos métodos con el fin de obtener diferentes subproductos. Las peladuras se han empleado para la obtención de bioaceite mediante pirólisis (Önal et al., 2012) y nanocristales de celulosa para ser utilizados en la industria (fabricación de plásticos, revestimientos inteligentes, cosméticos, productos farmacéuticos, energía solar) (Chen et al., 2012). También se ha empleado en la alimentación animal y en la obtención de compuestos antioxidantes (Wu et al., 2012). Además, el residuo de la patata constituye una fuente de materiales de partida para la producción de bioetanol (Arapoglou et al., 2010; Dodic et al., 2010), metano e hidrógeno (Parawira et al., 2008; Zhu et al., 2008; Chu et al., 2012).

El compostaje de las peladuras de patata con estiércol de vaca se aplicó para la biodegradación de asfaltenos presentes en el chapapote procedente del accidente del petrolero "Prestige" en las costas gallegas en 2002 (Matín-Gil y col., 2008). El producto obtenido presentó un buen contenido de nutrientes vegetales e índices muy altos de germinación.

En conclusión, podemos decir que la alternativa más económica y que requiere menos infraestructuras para la valorización de algunos de los principales residuos que se generan en Ecuador es el compostaje o vermicompostaje, así como la incineración para la obtención de energía. La ventaja del compostaje de los residuos agrícolas es la higienización de un producto que será empleado como abono orgánico para la fertilización de los mismos cultivos que han dado lugar al residuo, de manera que se estaría practicando una agricultura sostenible.

La producción de etanol también es una alternativa de valorización muy loable, pero requiere de mayores infraestructuras e inversión económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhamid, M., Horiuchi, T. y Oba, S. (2004). Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties. *Bioresource Technology*, 93 183-189.
- Andreola, F., Barbieri, L. y Bondioli, F. (2012). Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment. *Dyes and Pigments*., 94, 207-211.
- Arapoglou, D., Varzakas, Th., Vlyssides, A. y Israilides, C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*., 30, 1898-1902.
- Arvanitoyannis, I.S. y Tserkezou, P. (2008). Corn and rice waste: a comparative and critical presentation of methods and current and potential uses of treated waste. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 958-988.

- Bala-Amutha, K. y Murugesan, A. (2013). Biohydrogen production using cornstalk employing *Bacillus licheniformis* MSU AGM 2 strain. *Renewable Energy*, 50, 621-627.
- Bansal, S. y Kapoor, K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 73, 95-98.
- Bhatnagara, A. y Sillanpääb, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal wastematerials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical. Engineering Journal*, 157, 277-296.
- Chandra, R., Takeuchi, H. y Hasegawa, T. (2012). Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1462- 1476.
- Chang, J.I., Chen, Y.J. (2010). Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology*. 101, 5917-5924.
- Cheng, H., Whang, L., Wua, C. y Chung, M. (2012). A two-stage bioprocess for hydrogen and methane production from rice straw bioethanol residues. *Bioresource Technology*, 113, 23-29.
- Carvajal, E., Guamán-Burneo, C., Portero P., Salas, E., Tufiño, C., y Bastidas, B. (2013). Chapter 10: Second Generation Ethanol from Residual Biomass: Research and Perspectives in Ecuador. Ed: Miodrag Darko Matovic. *Biomass Now – Sustainable Growth and Use*. 266-284. DOI: 10.5772/51951
- Chu, C., Xu, K., Li, Y., y Inamori, Y. (2012). Hydrogen and methane potential based on the nature of food waste materials in a two-stage thermophilic fermentation process. *Hydrogen Energy Publications*, 37, 10611-10618.
- Dawson, L., Boopathy, R. (2007). Use of post-harvest sugarcane residue for ethanol production. *Bioresource Technology*, 98, 1695-1699.
- Dodic, S., Popov, S., Dodic, J., Rankovic, J., Zavargo, Z., y Golusin, M. (2010). An overview of biomass energy utilization in Vojvodina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 550-553.
- Eisentraut, A. (2010). *Sustainable production of second-generation biofuels. Potential and perspectives in major economies and developing countries*. OECD/IEA. Recuperado de <http://www.oecd.org/berlin/44567743.pdf>
- FAO, (2012). *FAOSTAT Producción agrícola*. Recuperado de www.fao.org/espana/estadisticas/estadisticas-fao/en/
- Fischer, G., Prieler, S., Velthuizen, H., Berndes, G., Faaij, A., Londo, M., y Wit, M. (2010). Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 34, 173-187.

- Foo, K. y Hameed, B., (2009). Utilization of rice husk ash as novel adsorbent: A judicious recycling of the colloidal agricultural waste. *Advances in Colloid and Interface Science*, 152, 39-47.
- Formowitz, B., Elango, F., Okumoto, S., Müller, T. y Buerkert, A. (2007). The role of “effective microorganisms” in the composting of banana (*Musa ssp.*) residues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 649-656.
- Goyal, S., Dhull, S. y Kapoor, K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96, 1584-1591.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y. y Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178.
- Hosseini, M., Shao, Y. y Whalen, J. (2011). Biocement production from silicon-rich plant residues: Perspectives and future potential in Canada. *Biosystems Engineering*, 110, 351-362.
- Hosseini, S.M. y Aziz, H.A. (2013). Evaluation of thermochemical pretreatment and continuous thermophilic condition in rice straw composting process enhancement. *Bioresource Technology*, 133, 240-247.
- Ioannidou, O., Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1966-2005.
- Iranzo, M., Cañizares, J.V., Roca-Pérez, V., Sainz-Pardo, I., Mormeneo, S. y Boluda, R. (2004). Characteristics of rice Straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresource Technology*, 95, 107-115.
- Jarabo, R., Monte, M.C., Fuente, E., Santos, S.F. y Negro, C. (2013). Cornstalk from agricultural residue used as reinforcement fiber in fiber-cement production. *Industrial Crops and Products*, 43, 832- 839.
- Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G.X., Guo, R., y Luo, Y.M. (2013). Gaseous emission during the composting of pig feces from Chinese Ganqinfen system. *Chemosphere*, 90, 1545-1551.
- Jindo, K., Suto, K., Matsumoto, K., García, C., Sonoki, T. y Sánchez-Monedero, M. (2012). Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource Technology*, 110, 396-404.
- Jingura, R. y Matengaifa, R. (2008). The potential for energy production from crop residues in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1287-1292.
- Kalemelawa, F., Nishihara, E., Endo, T., Ahmad, Z., Yeasmin, R., Tenywa, M., y Yamamoto, S. (2012). An evaluation of aerobic and anaerobic composting of banana peels treated with different inoculums for soil nutrient replenishment. *Bioresource Technology*, 126, 375-382.

- Kang, J., Zhang, Z., y Wang, J. (2011). Influence of humic substances on bioavailability of Cu and Zn during sewage sludge composting. *Bioresour. Technol*, 102, 8022-8026.
- Koopmans, A., Koppejan, J. (1997). *Agricultural and forest residues generation, utilization and availability. En: Regional consultation on modern applications of biomass energy*, Kuala Lumpur, Malaysia. Recuperado de www.fao.org/DOCREP/006/AD576E/ad576e00.pdf
- Kumar, R., Verma, D., Singh, B., y Shweta, U. (2010). Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*, 101, 6707-6711.
- Lal, R. (2005). World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*, 31, 575- 584.
- Leconte, M., Mazzarino, M., Satti, P., Iglesias, M., y Laos, F. (2009). Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Management*, 29, 2446-2453.
- Li, X., Zhang, R., y Pang, Y. (2008). Characteristics of dairy manure composting with rice straw. *Bioresource Technology*, 99, 359-367.
- Lim, J., Manan, Z., Wan Alwi, S., y Hashim, H. (2012). A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3084- 3094.
- Lim, S., Wu, T., Shyang Sim E., Lim, P., y Clarke, C. (2012). Biotransformation of rice husk into organic fertilizer through vermicomposting. *Ecological Engineering*, 41, 60-64.
- Liu, D., Zhang, R., Wub, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., y Shen, Q. (2011). Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 102, 9040-9049.
- Moreno, J., Moral, R. (2011). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Lye, E., Billsborrow, P. (2013). Assessment of the availability of agricultural residues on azonal basis for medium- to large-scale bioenergy production in Nigeria. *Biomass and Bioenergy*, 48, 66-74.
- Madurwar, M., Ralegaonkar, R., y Mandavgane, S. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872-878.
- Önal, E., Uzun, B. y Pütün, A. (2012). An experimental study on bio-oil production from co-pyrolysis with potato skin and high-density polyethylene (HDPE). *Fuel Processing Technology*, 104, 365-370.
- Parawira, W., Read, J., Mattiasson, B. y Bjornsson, L. (2008). Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass Bioenergy*, 32, 44-50.

- Piotrowska-Cyplik, A., Chrzanowski, L., Cyplik, P., Dach, J., Olejnik, A., Staninska, J., Czarny, J., Lewicki, A., Marecik, R. y Powierska-Czarny, J. (2013). Composting of oil edbleaching earth: Fatty acids degradation, phytotoxicity and mutagenicity changes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 78, 49-57.
- Rashad, F, Saleh, W. y Moselhy, M. (2010). Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. *Bioresource Technology*, 101, 5952-5960.
- Roca-Pérez, L., Martínez, C., Marcilla, P. y Boluda, R. (2009). Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. *Chemosphere*, 75, 781-787.
- Rosal, A., Rodríguez, A., González, Z. y Jiménez, L. (2012). Use of banana tree residues as pulp for paper and combustible. *International Journal of Physical Sciences*, 7(15) 2406-2413.
- Sarkar, N., Ghosh, S.K., Bannerjee, S. y Aikat K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*. 37, 19-27.
- Satisha, G. y Devarajan, L. (2007). Effect of amendments on windrow composting of sugar industry pressmud. *Waste Management*, 27, 1083-1091.
- Singh, S., Asthana, R.K. y Singh, A.P. (2007). Prospects of sugarcane milling waste utilization for hydrogen production in India. *Energy. Policy*, 35, 4164-4168.
- Suthar, S. (2009). Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trashusing epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Journal of Hazardous Materials*, 163, 199-206.
- Suthar, S. (2010). Potential of domestic biogas digester slurry in vermitechnology. *Bioresource Technology*, 101, 5419-5425.
- Tock, J., Lai, C., Lee, K., Tan, K. y Bhatia, S. (2010). Banana biomass as potential renewable energy resource: A Malaysian case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 798-805.
- Wu, Z., Xu, H., Ma, Q., Cao, Y., Ma, J. y Ma, C. (2012). Isolation, identification and quantification of unsaturated fatty acids, amides, phenolic compounds and glycoalkaloids from potato peel. *Food Chemistry*, 135, 2425-2429.
- Xiong, X., Yan-xia, L., Ming, Y., Feng-song, Z. y Wei,L. (2010). Increase in complexationability of humic acids with the addition of ligneous bulking agents during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*, 101, 9650-9653.
- Zayed, G. y Abdel-Motaal, H. (2005). Bio-active compost from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorous nutrition and microbiological community in rhizosphere of cowpea. *Bioresource Technology*, 96, 929-935.

Zhu, H., Stadnyk, A., Beland, M. y Seto, P. (2008). Co-production of hydrogen and methane from potato waste using a two-stage anaerobic digestion process. *Bioresource Technology*, 99, 5078- 5084.

Zhu, N., Deng, C., Xiong, Y. y Qian, H. (2004). Performance characteristics of tree aeration systems in the swine manure composting. *Bioresource Technology*, 95, 319-326.

Agradecimiento:

"El presente trabajo fue patrocinado por el Proyecto Prometeo de la Secretaría de Educación"