

# RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA: RETOS Y OPORTUNIDADES

## ORGANIC RESIDUES FROM THE SUGAR CANE AGROINDUSTRY: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Velasco-Velasco, J.<sup>1</sup>; Gómez-Merino, F.C.<sup>1</sup>; Hernández-Cázares, A.S.<sup>1</sup>; Salinas-Ruiz, J.<sup>1</sup>; Guerrero-Peña, A.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94961. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molinas s/n, H. Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500.

\*Autor de correspondencia: garmando@colpos.mx

### RESUMEN

Los residuos orgánicos de la agroindustria azucarera, su manejo y su aprovechamiento representan un tema central que debe ajustarse a las tendencias de sustentabilidad y responsabilidad social de toda actividad económica. La diversificación de sus productos y adaptación de los sistemas de producción para mantener e incrementar productividad son un área de oportunidad para investigar e innovar en la generación de tecnologías. Existen diversos usos alternativos de los residuos orgánicos, tales como: alimentación de ganado, bio remediación de suelos, obtención de biocombustibles, obtención de energía eléctrica y producción de abonos orgánicos. Se describen alternativas de uso y aprovechamiento de los residuos de caña de azúcar en campo e industria para subrayar el potencial de aprovechamiento de los mismos en el corto y mediano plazo.

**Palabras clave:** *Saccharum* spp., abonos orgánicos, bio remediación, biocombustibles, diversificación.

### ABSTRACT

Organic residues from the sugar agroindustry, their management and exploitation, represent a central theme that must adjust to the trends of sustainability and social responsibility of all economic activities. The diversification of products and adaptation of production systems to maintain and increase productivity are an area of opportunity to study and innovate in the generation of technologies. There are diverse alternative uses for organic residues, such as livestock feeding, soil bioremediation, obtaining biofuels, obtaining electric energy, and production of organic fertilizers. Alternatives for use and exploitation of sugar cane residues are described, in the field and industry, to highlight the potential for their exploitation, in the short and medium term.

**Keywords:** *Saccharum* spp., organic fertilizers, bioremediation, biofuels, diversification.

## INTRODUCCIÓN

**La caña** de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo de importancia a nivel mundial utilizada para la producción de azúcar y con una tendencia actual hacia la diversificación productiva. En México esta agroindustria representa un sector productivo que tiene un gran peso social, pues de ella dependen directamente e indirectamente alrededor de tres millones de personas que realizan diversas actividades inherentes y complementarias, tales como siembra, manejo del cultivo, cosecha, industrialización, transporte y comercialización (Aguilar-Rivera, 2017). Más de 35 % de la producción de este cultivo se realiza en el estado de Veracruz (SIAP, 2017), lo que indica la significancia para la región Golfo de México. La composición de materia seca de la caña de azúcar en su estado natural es la siguiente: 8.4 %, cogollo y hojas verdes; 19.7 %, hojas secas o paja; y 71.8 %, tallos limpios, es decir, los residuos constituyen alrededor de 28 % de su composición (León-Martínez, 2013). Recientemente, CONADESUCA (2016a) publicó una revisión sobre la diversificación productiva de este sector, donde resalta la importancia del aprovechamiento de los residuos de cosecha. El objetivo de este trabajo fue documentar alternativas de uso y aprovechamiento de los residuos de caña de azúcar en campo e industria para subrayar el potencial de aprovechamiento de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se obtuvo información de dos fuentes: una indirecta, por medio de revisión bibliográfica, y otra directa, a través de encuestas realizadas en dos ingenios (estudio de caso). Se consultó información en publicaciones impresas y en bases de datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); el Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED); el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP); y el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), entre otros. Se logró recolectar información acerca de cuáles son los principales estados productores y con mayor rendimiento de caña en México. También se obtuvo información directamente (estudio de caso) a cañeros y personal estrechamente relacionado con el procesamiento de la caña de la región de Tezonapa (zona centro del estado de Veracruz) y la comunidad de El Refugio (Región del Papaloapan al norte del estado de Oaxaca). Esta presenta un clima templado-húmedo-regular, con un rango de temperatura media anual de 20 °C a 26 °C, precipita-

ción pluvial media anual es de 2,888 mm. Cuenta con algunas planicies montañosas propias para la agricultura y el pastoreo de ganado bovino. La vegetación principal es selva media sub-perennifolia (INAFED, 2002). Por medio de encuestas realizadas a productores de la zona se recaudó información para conocer los rendimientos y subproductos que se obtienen en una hectárea de caña por dos diferentes métodos de cultivo o sistemas de producción (temporal y riego). De igual forma, se obtuvo información de la producción, así como sus subproductos en dos distintos ingenios azucareros, entrevistando a personal de la planta. Con la información reunida por los diferentes métodos se pudo realizar una comparación para conocer la cantidad de subproductos que se genera en una zafra en los principales estados productores de caña en México y así brindar algunas alternativas para los aprovechamientos de los residuos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México los principales estados productores de caña de azúcar son Veracruz, con una producción de 19, 715, 409; Jalisco, con 7, 964, 203; y San Luis Potosí, con 5, 188, 654. Estas tres entidades federativas aportan 57.6 % de la superficie ocupada por el cultivo de caña de azúcar en el ámbito nacional. Aunque Veracruz se ubica en el primer lugar nacional con casi la tercera parte de la producción, el mayor rendimiento se observa en Morelos, con 119.8 t ha<sup>-1</sup> (Atlas Agroalimentario, 2016). De acuerdo con la SAGARPA (2013), la agroindustria de la caña de azúcar presenta diversas problemáticas, incluyendo el escaso aprovechamiento de los residuos de campo e industria de la caña de azúcar debido a que son considerados basura y no como un subproducto (Cuadro 1).

### Residuos de cosecha y pérdidas en campo

Actualmente en Veracruz el cultivo de caña de azúcar ocupa una superficie de 287,813 hectáreas, con una producción de 2,320,901 toneladas de azúcar, lo que representa 38 % de la producción de azúcar en el país (SIAP, 2017). Una de las características principales de la caña de azúcar es la vasta producción de follaje. En más de 90 % de la superficie dedicada a caña de azúcar en México se realizan quemadas, a fin de facilitar su corte, lo que elimina parte importante de la biomasa producida por la planta (Figura 1). Después de esto queda la paja (localmente conocida como tlazole) y las puntas o cogollos, que constituyen entre 20 % y 30 % de la biomasa de la planta (León-Martínez et al., 2013). De acuerdo con Mora (2015), en la cosecha de caña de azúcar se

**Cuadro 1.** Situación actual de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en México (SAGARPA, 2013).

Problemática	Oportunidad
Deficiencias en la infraestructura, maquinaria y equipo.	Agroindustria más antigua del país, con una ubicación geográfica estratégica.
Deficiente organización de la cosecha.	
Crédito insuficiente.	Tratados internacionales de libre comercio que posibilitan la venta de productos.
Varietades de caña en estado degenerativo, con alto desbalance en campo	Se tiene una creciente diversificación del uso del azúcar.
Insuficiente fertilización.	Existe un potencial de incremento de la productividad en campo.
Bajo nivel de investigación científica y tecnológica en campo.	Alto grado de integración organizativa del gremio cañero.
Bajo nivel de capacitación.	Tiene un marco legal que le brinda seguridad y certeza jurídica (Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar).
El 60% se cultiva en zonas de temporal y las zonas de riego son en su mayoría de gravedad.	

pueden producir entre 50 a 100 t ha<sup>-1</sup> de residuos vegetales factibles de aprovecharse. Según estimaciones de Salgado-García *et al.* (2014), el rendimiento promedio de paja seca es de 18.2 t ha<sup>-1</sup> en sistemas de producción con cosecha mecanizada.

Los residuos de caña que se pierden durante el corte y la recolección varían de acuerdo con el volumen de biomasa producido, manejo del cultivo y sistema de riego o temporal. En México, Veracruz es el mayor generador de residuos, seguido de Jalisco y San Luis Potosí (Cuadro 2).

### Residuos y pérdidas de la industria azucarera

Durante aproximadamente ocho meses que dura la zafra en la zona central del estado de

Veracruz se generan volúmenes considerables de residuos de cosecha que en principio son considerados como basura. Gracias a las políticas de protección al ambiente se han estado implementando proyectos de innovación para el aprovechamiento de estos residuos y, al mismo tiempo, generar beneficios económicos adicionales. La cantidad de residuos de cosecha y subproductos que pueden generar los ingenios azucareros dependerá del nivel de automatización, ya que entre más automatizado sea el sistema de producción, habrá mayor capacidad para procesar la materia prima y, en consecuencia, los residuos también aumentan. Es im-

portante mencionar que no todos los ingenios del país producen azúcar estándar, ya que algunos procesan mascabado y otros producen azúcar refinada; por lo tanto, cada ingenio produce diferentes residuos durante su proceso.

Con los datos obtenidos a través de las encuestas a trabajadores de los ingenios visitados (Cuadro 3) se detallan los residuos que se

obtienen en dos diferentes ingenios. Se encontró que el nivel de automatización del ingenio El Refugio es menor, ya que este solo produce mascabado, en comparación con el Ingenio Constancia que produce azúcar estándar.

Los valores obtenidos son datos aproximados, ya que el personal técnico

de los ingenios maneja datos en porcentaje. Otros residuos pertenecen a productos que se utilizan durante el proceso, como la lechada de cal. En los últimos años las investigaciones acerca de la utilización de residuos de la caña han aumentado, dando como resultado su uso innovador, creando nuevas normas medio ambientales. A continuación se dan algunas de estas alternativas para utilizar estos residuos.

### Alternativas de uso para residuos de la caña de azúcar en campo

De acuerdo con Toledo *et al.* (2008) y Mora (2015), los



**Figura 1.** Caña de azúcar (*Saccharum spp.*) recién cortada, montada en "burritos" para su transporte a fábrica.



**Cuadro 2.** Valores promedio en toneladas de residuos y pérdidas durante el corte y recolección de caña de azúcar en los principales estados productores de México (CONADESUCA, 2016b).

Rendimientos y residuos	Veracruz		Jalisco		San Luis Potosí	
	Producción (2015-2016)		Producción (2008-2009)		Producción (2013-2014)	
	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego
Rendimientos (t ha <sup>-1</sup> ).	60 - 70	80 - 120	50 - 68	70 - 95	61 - 65	62 - 85
Residuos de hoja en (t ha <sup>-1</sup> ).	Nulo debido quema	Nulo debido quema	Nulo debido quema	Nulo debido quema	Nulo debido quema	Nulo debido quema
Tlazole (t ha <sup>-1</sup> ).	13 - 14	16 - 24	12 - 14	14 - 19	13 - 13.5	13 - 17
Punta/cogollo (t ha <sup>-1</sup> ).	Aprox. de 40	Aprox. de 60	Aprox. de 35	Aprox. de 50	Aprox. de 30	Aprox. de 42.5
*Pérdida de caña por maquinaria en campo (t ha <sup>-1</sup> ).	Aprox. 3.5	Aprox. 4.2	Aprox. 3.2	Aprox. 4.5	Aprox. 3.1	Aprox. 3.7
Residuos por traslado t.	Por viaje (0.01 a 0.012).	Por viaje (0.01 a 0.012).	-	-	-	-
	Por turno (0.45 a 0.6)	Por turno (0.7 a 0.9)	-	-	-	-

Nota 1: \*Los residuos por maquinaria varían ya que en campo se pierde aprox. 5 % de la producción (Información de personal de ingenios).

**Cuadro 3.** Residuos y pérdidas en el proceso de elaboración de azúcar en dos ingenios azucareros en la zafra 2015-2016.

Indicadores	Ingenio El Refugio (Automatizado en un 50%)	Ingenio Constanca (Automatizado en un 70%)
Caña procesada (t día <sup>-1</sup> )	5,385	5,784
Azúcar al día (t).	240	454
Bagazo t día <sup>-1</sup> (60%)	3,231	3,470
Cachaza t día <sup>-1</sup> (23%)	1,238	1,380
Cenizas t día <sup>-1</sup> (6%)	323	347
Otros residuos t (≤1%)	53.8 máximo	57.8 máximo

residuos agrícolas que se generan en los campos de cultivo de caña de azúcar pueden ser distribuidos en los mismos con los siguientes beneficios:

- Cobertura entre las calles en el terreno de cultivo, lo que promueve la conservación del suelo y evita la proliferación de malezas.
- Aporte de materia orgánica, nutrimentos y conservación de la humedad en el suelo.
- Mejoramiento de algunas propiedades físicas y químicas del suelo.
- Evitan el encharcamiento en épocas de lluvias.
- Promueven la actividad microbiológica, facilitando el transporte y asimilación de los nutrientes.
- Producen en el suelo un efecto mecánico, como cobertura y posterior incorporación, superior a la subsolada y escarificada
- Facilitan la aireación del suelo una vez descompuestos e incorporados

En la Figura 2 se muestra un terreno de cultivo de caña de azúcar donde se distribuyeron los residuos de cosecha.

Otro de los usos de los residuos de campo de la caña de azúcar es para la alimentación del ganado,



**Figura 2.** Puntas o cogollos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) que aprovechan como abonos orgánicos en los terrenos de cultivo en la zona de influencia del Campus Córdoba.

combinada con otros forrajes e ingredientes alimenticios; así, la caña de azúcar representa una opción nutricional de bajo costo y mayor eficiencia en la producción animal (Muñoz y González, 1998; León-Martínez *et al.*, 2013).

### Alternativas de uso para residuos de la caña de azúcar de la agroindustria

#### Abonos orgánicos

La agroindustria azucarera genera muchos subproductos y el compostaje es una alternativa para que estos sean transformados en materiales útiles que pueden ser reincorporados al sistema de producción (Figura 3). A partir de la cachaza y del bagazo, que son los principales residuos agroindustriales, se pueden elaborar diversos tipos de vermicompostas para mezclarse con diferentes fuentes de estiércol de aves, equinos, vacunos, ovinos, caprinos o porcinos, y ser sometidas en vermicompostaje por tres meses. De acuerdo con Pérez-Méndez *et al.* (2011) y Palma-López *et al.* (2016), los mejores tratamientos son los adicionados con estiércol de ganado ovino y vacuno (Figura 3).



**Figura 3:** Cachaza esparcida en terrenos para ser envasada como abono orgánico en los terrenos experimentales del Campus Córdoba.

#### Remediación de suelos contaminados

La cachaza y el bagazo de caña de azúcar se utilizan para la remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) de suelos contaminados con petróleo crudo. En un estudio se encontró que la cachaza es más eficiente en comparación con el bagazo para ser utilizada en los procesos bio remediación de suelos contaminados con hidrocarburos (García-Torres *et al.*, 2011; Antonio-Ordaz *et al.*, 2011). Sin embargo, en otro estudio se observó que la combinación cachaza-bagazo es más eficiente en la remoción de hidrocarburos que su eficiencia de forma individual (Cuevas *et al.*, 2016). La cachaza también se utiliza en la bio remediación de suelos contaminados con pesticidas, como DDT (Betancur-Corredor *et al.*, 2013). La planta en su totalidad puede ser utilizada con propósitos de fitorremediación; por ejemplo, para eliminar metales pesados como cadmio (Trejo-Téllez *et al.*, 2014).

#### Energía eléctrica

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la energía solar en biomasa. El rendimiento experimental máximo ha sido de 212 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en tanto que el potencial productivo se ha estimado entre 500 y 800 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Moore, 2009; Yadav *et al.* (2010), lo que le coloca como el cultivo agroalimentario más productivo sobre la tierra. La producción energética de la caña es 20 veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla hasta el ingenio (Reyes-Montiel *et al.*, 2016). Al respecto se conoce que cuatro toneladas de residuos equivalen en energía eléctrica a lo producido por una tonelada de carbón (León-Martínez *et al.*, 2013; Mora, 2015). En el caso del bagazo por cada hectárea cosechada se obtienen anualmente 13.5 toneladas equivalentes a 2.7 tce (tonelada de combustible equivalente:

37.5 MJ/Kg). Este se utiliza mayormente como combustible directo en la generación de energía eléctrica y térmica (generación de vapor en las calderas) (García-Torres *et al.*, 2011). Un ejemplo de generación de energía eléctrica a partir de residuos de caña es el Ingenio Tres Valles de Veracruz, que desde 2010 está cogenerando electricidad tanto eléctrica

como térmica (vapor), la cual es una práctica redituable para los ingenios de México y eficaz para el desarrollo rural sustentable. En la zafra de noviembre de 2014 a junio de 2015 generó 64,182.995 kilowatt (kW) por hora, con un total de 663,331 toneladas del bagazo que se obtuvieron de 40,850 hectáreas de superficie de caña cosechada. La electricidad que generan sería suficiente para alumbrar a más de 100 mil hogares de Veracruz durante 365 días (Pineda, 2016).

### CONCLUSIONES

La innovación en el uso y aprovechamiento de los residuos agroindustriales de caña de azúcar permitirán la diversificación de productos y fomentarán su manejo sostenible. Con ello se pretende fomentar la agroindustria azucarera mexicana mediante el incremento de su productividad y competitividad a escala Nacional e internacional.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar Rivera N. 2017. Cadena de valor de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Agroproductividad*: En prensa
- Antonio-Ordaz J., Martínez-Toledo A., Ramos-Morales R., Sánchez-Díaz L.F., Jesús-Martínez A., Tenorio-López J.A., Cuevas-Díaz M. del C. 2011. Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. *Multiciencias* 11: 136-145.
- Atlas Agroalimentario 2016. Publicaciones SIAP 2016. Disponible en: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016).
- Betancur-Corredor B., Pino N., Peñuela G.A., Cardona-Gallo S. 2013. Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT. *Revista Gestión y Ambiente* 16: 119-135.
- CONADESUCA. 2016. Diversificación de la caña de azúcar para otros fines. Nota Técnica Informativa del sector de la caña de azúcar. <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114368/CAMBIOSNotaABRIL2016.pdf>
- CONADESUCA. 2016. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar. *Zafra 2008/09 2014/15*. [www.cndsca.gob.mx/documentos%20de%20interes/Informe%20Estadistico%20CONADESUCA%2014-15%20completo.pdf](http://www.cndsca.gob.mx/documentos%20de%20interes/Informe%20Estadistico%20CONADESUCA%2014-15%20completo.pdf).
- Cuevas-Díaz M.C., Torres-López C.P., Martínez-Toledo A., Sánchez-Díaz L.F. 2016. Actividad de fosfatasa en suelo biorremediado con residuos de caña de azúcar. [http://ameqa.org/AMEQA/V\\_congreso\\_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB29.pdf](http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20BB29.pdf)
- García-Torres R., Ríos-Leal E., Martínez-Toledo A., Ramos-Morales F.R., Cruz-Sánchez J.S., Cuevas-Díaz M. C. 2011. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27: 31-39.
- Herrera-Solano A., Milanés-Ramos N., Molina-Lara F.A., Ordoñez-Barahano P., Elorza-Martínez P., Castillo Moran A., Enríquez-Ruvalcaba V., Rodríguez-Lagunes D.A. 2009. Efecto del manejo de los residuos de cosecha de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre el rendimiento de campo en Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola* 9: 517-521.
- INAFED. 2002. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. <http://www.gob.mx/inafed>.
- León-Martínez T.S., Dopico-Ramírez D., Triana-Hernández O., Medina-Estévez M. 2013. Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. <http://148.215.2.10/articulo.oa?id=223128548003> ISSN 0138-6204.
- Mora O. 2015. Propuesta de alternativas hacia una producción sostenible de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. *Revista Agricultura Orgánica*. <http://www.controlbiologico.com/produccion-de-cana.htm>
- Moore P.H. 2009. Sugarcane Biology, Yield, and Potential for Improvement. *In: Proceedings of the Workshop BIOEN on sugarcane improvement*. Sao Paulo, Brazil. March 2009. [http://www.fapesp.br/pdf/bioen1803/Bioen\\_Moore.pdf](http://www.fapesp.br/pdf/bioen1803/Bioen_Moore.pdf)
- Muñoz E., González R. 1998. Caña de azúcar integral para estimular el consumo a voluntad de alimentos voluminosos en vacas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 32: 33-40.
- Palma-López D., Zavala-Cruz J., Cámara-Reyna J. 2016. Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para elaborar abonos orgánicos. *Agroproductividad* 9: 29-34.
- Pérez-Méndez M.A., Sánchez-Hernández R., Palma-López D.J., Salgado-García S. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. *Interciencia* 36: 45-52.
- Pineda C. 2016. Ingenio genera electricidad con residuos de caña de azúcar. *Energías Renovables Sustentabilidad* <http://agromarketing.mx/sustentabilidad/ingenio-genera-electricidad-con-residuos-de-cana-de-azucar/>
- Reyes-Montiel J.L., Pérez-Bermúdez R., Betancourt-Mena J. 2016. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm>.
- SAGARPA. 2013: Impactos caña. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Ca%C3%B1a.pdf> [Consultado el 13 de Enero 2017].
- SIAP. 2017. Anuario Estadístico de Producción Agrícola. Caña de Azúcar. [http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp).
- Salgado-García S., Aranda-Ibañez E.M., Castelán-Estrada M., Ortiz-Laurel H., Palma-López J.D., Córdova-Sánchez S. 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de caña de azúcar. *Agroproductividad* 7: 3-8.
- Toledo E., Cabrera J.A., Leyva A., Pohlan H.A.J. 2008. Estimación de la producción de residuos agrícolas en agroecosistemas de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 29: 17-21.
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Rivera-Olivares L.Y., Tejeda-Sartorius O. 2014. Cadmium-induced changes in leaf nutrient concentrations in sugarcane. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 12: 879-885.
- Yadav D.V., Jain R., Rai R.K. 2010. Impact of Heavy Metals on Sugarcane. *In: I. Sherameti and A. Varma (Eds.). Soil Heavy Metals-Soil Biology*. pp. 339-367

