

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN AGROECOSISTEMAS DE CAÑA DE AZÚCAR

E. Toledo[✉], J. A. Cabrera, A. Leyva y H. A. J. Pohlan

ABSTRACT. In 1996, a trial was initiated in Chiapas, Mexico, with the objective to estimate the amount of crop residues remaining in the field after sugarcane harvest. An established plantation was used to design three strip blocks with a 3250 m²-area each. On that date, one block was fully burnt and the whole residual biomass was preserved *in situ*; the other block continued being burnt just at preharvest whereas the third one was always burnt previous to and 15 days after harvest. Sugarcane variety Mex 69-290 was studied with 12-month-old ratoons harvested in December. Concerning the non-burnt block, mean dry sugarcane trash yield (DSCTY) was calculated and a linear regression established between cane yield (CY) and DSCTY. Green cane trash blanket did not affect the subsequent ratoon yields, so that CY and DSCTY increased from 16 to 30 Mg.ha⁻¹, with a mean value of 23.71±3.01 Mg.ha⁻¹ that represented 17.1 % CY. DSCTY/CY relationship was not modified in time, reaching a mean value of 171 kg DSCTY per each CY Mg. For Mex 69-290 variety, DSCTY could be estimated, when sugarcane was burnt, from CY and the mean value of 0.171 Mg DSCTY.Mg cane⁻¹ and the regression obtained.

RESUMEN. La investigación se realizó a partir de 1996 en Chiapas, México, con el objetivo de estimar la cantidad de residuos agrícolas que quedan en el campo después de realizar la cosecha de la caña de azúcar. Se utilizó una plantación ya establecida, sobre la que se diseñaron tres bloques en franja con un área de 3250 m² cada uno. Desde 1996, uno de los bloques se dejó de quemar totalmente, conservando *in situ* toda la biomasa residual producida; en otro se continuó con el uso de la quema solo previo a la cosecha y en el tercero, siempre se quemó antes y 15 días después de la cosecha. Se utilizó la variedad Mex 69-290, con retoños cosechados en diciembre con 12 meses de edad. En el bloque sin el uso de la quema se calculó el valor medio de la producción de residuos en base seca y se estableció una regresión lineal entre el rendimiento de tallos y la producción de residuos agrícolas. La cobertura de residuos agrícolas no afectó los rendimientos de los ciclos posteriores, incrementándose tanto los rendimientos cañeros como la cantidad de residuos que osciló entre 16 y 30 Mg.ha⁻¹ en base seca, con una media general igual a 23.71±3.01 Mg.ha⁻¹, lo que representó el 17.1 % de la producción de tallos. La relación residuos/tallos no se modificó en el tiempo, alcanzando un valor promedio de 171 kg de residuos en base seca por cada Mg de tallos producidos. Para la variedad Mex 69-290, se pudo estimar la producción de residuos agrícolas cuando se usó la quema a partir del rendimiento de tallos y el valor medio 0.171 Mg residuos.Mg tallos⁻¹ y con la regresión obtenida.

Key words: sugarcane, crop residues, burning, Mexico

Palabras clave: caña de azúcar, residuos de cosecha, quema, México

INTRODUCCIÓN

Todo proceso agrícola genera, durante el desarrollo del cultivo y en la cosecha, residuos o desechos vegetales que se destinan para diferentes usos.

La caña de azúcar es una especie que se caracteriza por ser muy eficiente en el proceso fotosintético, por lo que tiene una elevada capacidad para producir grandes cantidades de biomasa y los residuos agrícolas se

pueden utilizar para la alimentación animal (1), reciclar nutrientes y materia orgánica dentro del agrosistema (2, 3), como cobertura vegetal del suelo para mantener la humedad y evitar la erosión (4, 5), controlar las plantas indeseables, así como la generación de energía (6).

Dados los diferentes usos que se dan a los residuos agrícolas cañeros, luego de realizada la cosecha, resulta importante conocer la cantidad que se produce en un área determinada, para de esa forma planificar y decidir su utilización.

Una forma de determinar la cantidad de biomasa residual lo constituye su medición por pesadas, ya sea en el campo o en balanzas apropiadas establecidas fuera del área de generación, algo que resulta inoperante dada la magnitud de esta biomasa y los recursos requeridos para alcanzar tal propósito.

Ms.C. E. Toledo, Profesor Académico de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas, Campus IV, Chiapas, México; Dr.C. J. A. Cabrera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas y Dr.C. A. Leyva, Investigador Titular del Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700; Prof. Dr. H. A. J. Pohlan, Universidad de Bonn, Alemania

✉ etoledo2720@yahoo.com, etoledo1214@gmail.com

Por tales motivos, encontrar métodos que permitan determinar la cantidad de biomasa que queda en el campo a partir de estimaciones estadísticas, constituye el objetivo de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de campo se realizó a partir de 1996 en la finca "Rancho Nuevo", municipio de Huixtla, Chiapas, México.

Según la clasificación de Köppen modificada (7), el clima de la zona está ubicado entre los cálidos subhúmedos Aw_2 (w) y los cálidos húmedos Am (w), con predominio en la faja central del valle del subtipo más húmedo, donde el régimen de lluvia anual sobrepasa los 1 800 mm y registrando dos períodos, uno de noviembre a abril con lluvias promedio entre 100 y 200 mm y otro de mayo a octubre, con precipitaciones que oscilan entre 1 700 y 2 000 mm. El promedio de la temperatura anual es de 28°C, registrándose la más alta (45°C) en marzo y abril y la mínima (14°C) en diciembre y enero.

Se utilizó una plantación de caña de azúcar ya establecida con distancia entre surcos de 1.30 m, donde se practicó la quema antes y después de la cosecha, que es el manejo convencional usado en la zona de estudio.

En la plantación se diseñaron tres bloques en franjas con un área de 3250 m² de 100 m de largo y 32.50 m de ancho cada uno, considerándose como tratamientos. Los tres bloques experimentales fueron ubicados en las coordenadas 15° 08' N y 92° 09' W (8, 9).

Desde 1996, uno de los bloques se dejó de quemar totalmente, conservando *in situ* toda la biomasa residual producida al concluir la cosecha; en otro se continuó el uso de la quema, pero solo previo a la cosecha, para conservar una parte de la biomasa residual producida y, en el tercero, siempre se quemó antes y 15 días después de la cosecha, por lo que se mineralizó una parte considerable de la biomasa de residuos agrícolas producida durante el ciclo del cultivo. Las cosechas se realizaron en forma manual.

Se utilizó la variedad Mex 69-290, que ocupa el 50,5 % del total de la superficie cañera de la región, en ciclos de retoños cosechados en diciembre con 12 meses de edad.

El suelo fue clasificado como Feozems háplico (10), que representa el 30.1 % (2 973 ha) de la superficie total establecida con caña de azúcar (11).

La plantación se fertilizó anualmente al inicio de las lluvias con la fórmula 20-10-24 en una dosis de 500 kg.ha⁻¹.

Para la realización de las evaluaciones y la obtención de los datos, se seleccionaron al azar 20 puntos en cada bloque con un área de 1 m x 1 m cada uno, conteniendo el surco de caña al centro.

Las evaluaciones se iniciaron a partir de la cosecha de diciembre de 1998. Cada tratamiento fue manejado como un sistema productivo independiente, registrándose toda la información obtenida hasta el 2005.

Para determinar el rendimiento de la caña de azúcar en los tres bloques, se procedió según un método de estimación establecido en México (12); para ello se tomaron todos los tallos molederos presentes en cada metro lineal de los 20 puntos prefijados y se pesaron en una balanza técnica.

Los residuos agrícolas quedados en el campo posterior a la realización de la cosecha, en el tratamiento donde se eliminó el uso de la quema desde 1996, se determinaron pesando la biomasa contenida dentro del marco de 1.00 m² de cada uno de los 20 puntos de muestreo. De la biomasa obtenida, se tomó una submuestra de 200 g y se llevó a peso constante en estufa a 70°C para expresar la producción de residuos en base seca.

Se calculó el valor medio de producción de residuos agrícolas y, además, se estableció una regresión lineal entre el rendimiento de tallos y la producción de residuos agrícolas en base seca. Con ambos, se estimó la producción de residuos en los dos tratamientos en que se usó la quema.

A la producción de tallos, residuos agrícolas y los valores de la relación residuo/tallo, todos correspondientes al tratamiento de la cosecha en verde, se les calcularon los intervalos de confianza a un 95 % de probabilidad en cada año con fines de comparación. A la regresión lineal se le calculó como estadígrafos de ajuste el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de la estimación (Es_y).

Las estimaciones de producción de residuos agrícolas, en los tratamientos donde se utilizaron una y dos quemas, se compararon mediante la igualdad en las poblaciones de la varianza, a partir de la comparación de las desviaciones típicas con la prueba de Fisher (F), la igualdad de medias con la prueba t de Student (t), la igualdad de medianas con la prueba de Mann-Whitney (W) y la igualdad de la distribución mediante el contraste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete STATGRAPHIC plus 5.1 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el tiempo, los rendimientos cañeros se incrementaron y a partir del 2001 se observó estabilidad en la producción (Figura 1), lo que pudiera interpretarse como que la caña de azúcar expresó su potencial de rendimiento en las condiciones de manejo a que estuvo sometida a partir del año mencionado.

Durante el desarrollo de la investigación, las precipitaciones resultaron similares entre los años, tanto en la lluvia total caída como en la distribución, con excepción del 2005 en el que se manifestó el huracán Stan en el segundo semestre.

A partir de lo anterior se infirió que otros elementos diferentes a la lluvia determinaron el comportamiento agrícola cañero, lo que sugirió que mantener la cobertura

con los residuos agrícolas tuvo su influencia, ya sea de forma directa haciendo más eficiente la absorción de nutrientes de los fertilizantes, manteniendo la humedad del suelo, controlando la presencia de arvenses y liberando nutrientes lentamente mediante la mineralización de esa materia orgánica o de forma indirecta, por algún efecto favorable sobre las propiedades del suelo, tal como han considerado otros (2, 3, 13). No se manifestaron efectos adversos sobre el rendimiento, como los encontrados en Louisiana y que fueron atribuidos a la combinación de la disminución de la temperatura en primavera con el incremento de la humedad bajo los residuos (14), como tampoco posibles efectos alelopáticos (15).

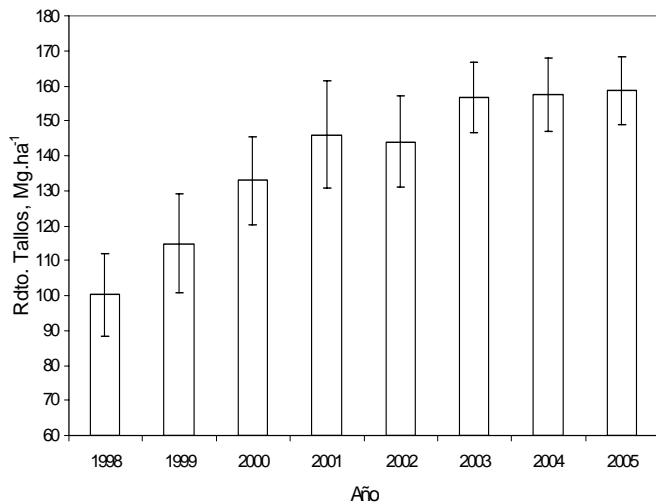


Figura 1. Rendimiento de tallos de caña de azúcar cuando se realiza la cosecha sin la quema en Huixtla, Chiapas, Méjico. Las barras son los intervalos de confianza a un 95 % de probabilidad

También la cantidad de residuos presentes en el momento de la cosecha se incrementó con el tiempo, en correspondencia con el comportamiento de los rendimientos de tallos y osciló entre 16 y 30 Mg.ha⁻¹ en base seca, con una media general igual a 23.71±3.01 Mg.ha⁻¹, lo que representa el 17.1 % de la producción de tallos (Figura 2). En Cuba se encontraron resultados similares trabajando en un suelo Feozem (16).

En Ecuador se han medido 13.89 Mg de residuos en base seca, con rendimientos de tallos promedio de 86 Mg.ha⁻¹ (17); otros consideran que por cada 100 Mg de tallos se producen 14 Mg de residuos (18).

Las diferencias existentes entre la producción de residuos se pueden atribuir a las variedades, el suelo, clima, los rendimientos de tallos y el manejo a que se somete el agrosistema cañero. En el caso de la investigación realizada, los rendimientos de tallos fueron elevados, lo que puede explicar la cantidad de residuos agrícolas encontrados en la cosecha.

La relación entre el rendimiento de tallos y residuos se ajustó a una regresión lineal (Figura 3).

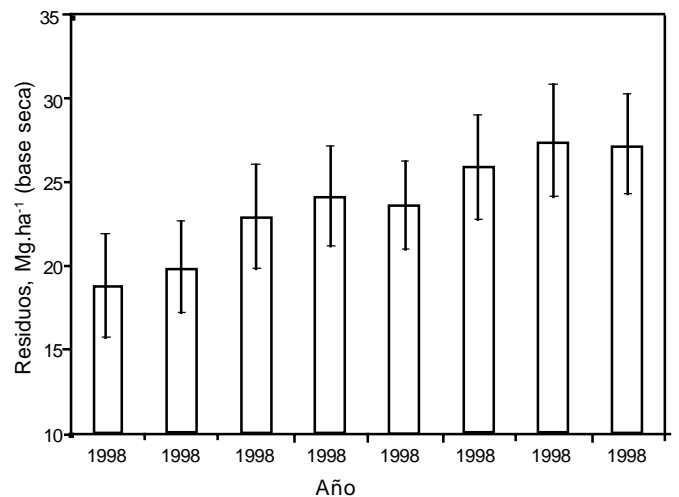


Figura 2. Rendimiento de residuos agrícolas cañeros cuando se realiza la cosecha sin la quema en Huixtla, Chiapas, Méjico. Las barras son los intervalos de confianza a un 95 % de probabilidad

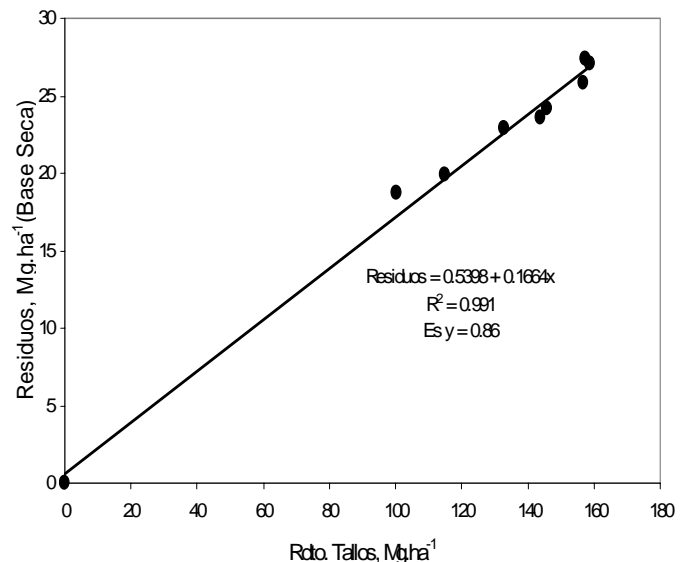


Figura 3. Modelación de la producción de residuos agrícolas cañeros en función del rendimiento de tallos en base húmeda cuando se realiza la cosecha sin la quema en Huixtla, Chiapas, Méjico

En Argentina se logró establecer regresiones lineales con dos de las cuatro variedades de caña de azúcar que se estudiaron (19), donde las pendientes de las rectas (0.162 y 0.154) tuvieron valores cercanos a los encontrados en esta investigación.

A diferencia de la producción cañera y los residuos agrícolas, la relación residuos/tallos no se modificó en el tiempo, alcanzando un valor promedio de 171 kg de residuos en base seca por cada Mg de tallos producidos (Figura 4).

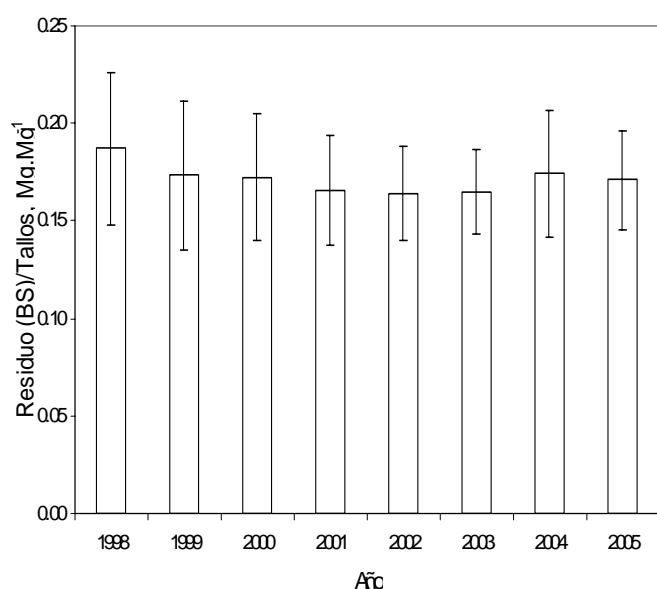


Figura 4. Relación residuos agrícolas (base seca)/rendimiento de tallos cuando se realiza la cosecha de caña de azúcar sin la quema en Huixtla, Chiapas, Méjico. Las barras son los intervalos de confianza a un 95 % de probabilidad

Independientemente de los rendimientos de tallos, la relación se mantuvo invariable, lo que difiere de los resultados de Argentina, donde se encontró que la relación disminuyó en la medida que los rendimientos cañeros se incrementaron (19). Las diferencias pueden ser atribuibles a que en Argentina se evaluaron cuatro variedades, cada una con sus particularidades genéticas.

En Brasil se ha informado que, como promedio en base seca, se obtienen 140 kg de residuos.Mg tallos⁻¹, variando entre 110-170 kg.Mg⁻¹ de tallos (20).

Se considera que con fines de estimación, se puede asumir una producción de 150 kg de residuos por cada Mg de tallos (21).

En Ecuador se han determinado 161 kg de residuos.Mg⁻¹ de tallos (17).

La estimación de la producción de residuos a partir del rendimiento de tallos correspondiente a cada manejo, en aquellos tratamientos en que se usó la quema para la cosecha utilizando tanto el valor medio como la regresión obtenida, se presenta en la Tabla I.

Los rendimientos alcanzados en los agrosistemas donde se usó la quema, resultaron menores que los obtenidos cuando la cosecha se realizó en verde. Esto trajo como consecuencia que la producción de residuos fuera también menor. En estos casos, los valores encontrados se correspondieron más con los informados para otros países (17, 18), como también lo fueron los rendimientos cañeros.

Los valores de los estadígrafos calculados para cada estimación, permitieron apreciar la similitud existente entre ellos para un caso y el otro (Tabla II).

Tabla I. Estimación de residuos agrícolas producidos en agroecosistemas cañeros donde se practica la quema para la cosecha, Huixtla, Chiapas, Méjico

Año	Rendimiento tallos (base húmeda)	Residuos estimados (base seca)	
		A partir del valor medio*	A partir del modelo**
-----Mg.ha ⁻¹ -----			
Una Quema			
1998	88.3	15.10	15.23
1999	89.8	15.36	15.56
2000	87.7	15.00	15.13
2001	101.0	17.27	17.34
2002	103.6	17.72	17.77
2003	105.3	18.01	18.05
2004	106.6	18.23	18.27
2005	105.0	17.96	18.00
Dos Quemias			
1998	85.9	14.69	14.83
1999	88.3	15.10	15.48
2000	86.5	14.79	14.93
2001	90.8	15.53	15.66
2002	90.9	15.54	15.77
2003	91.6	15.66	15.77
2004	90.3	15.44	15.64
2005	91.8	15.70	15.81

*Valor medio=0.171 Mg.Mg tallos⁻¹ base húmeda

**Modelo: Residuos=0.5398+0.1664 Rdto. tallos en base húmeda

Tabla II. Resumen estadístico de las dos poblaciones de residuos agrícolas estimadas para agroecosistemas cañeros donde se practica la quema para la cosecha, Huixtla, Chiapas, Méjico

Estadígrafo	Estimado a partir del valor medio	Estimado del modelo
Frecuencia	16	16
Media	16.06	16.20
Varianza	1.63	1.48
Desviación típica	1.28	1.22
Mínimo	14.69	14.83
Máximo	18.23	18.27
Rango	3.54	3.44
Asimetría típica	1.28	1.25
Curtosis tipificada	-0.94	-0.93
Coefficiente de Variación, %	7.95	7.53
Valor medio=0.171 Mg.Mg tallos ⁻¹ base húmeda		
Modelo: Residuos=0.5398+0.1664 Rdto. tallos en base húmeda		

Los valores de Asimetría típica y Curtosis se encontraron dentro de -2 y +2, rango exigido para considerar que los elementos de una población se distribuyen acorde a la distribución normal.

Cuando se compararon los estadígrafos de las dos poblaciones estimadas de residuos agrícolas, los valores no tuvieron significación estadística (Tabla III).

Estos resultados indicaron que ambas estimaciones resultaron iguales y con la misma distribución, según lo acreditó el valor del contraste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabla III. Comparación de estadígrafos de las dos poblaciones de residuos agrícolas estimadas para agroecosistemas cañeros donde se practica la quema para la cosecha, Huixtla, Chiapas, Méjico

Estadígrafo	Estadístico calculado	Valor $p < 0.05$, $gl=15$
Desviación típica	F=1.097	0.858 NS
Media	t=-0.303	0.764 NS
Mediana	W=151.5	0.385 NS
Distribución	Contraste K-S= 0.707	0.689 NS

CONCLUSIONES

- Cuando se realiza la cosecha de la caña de azúcar sin hacer uso de la quema, se logra una cobertura de residuos agrícolas que no afecta los rendimientos de los ciclos posteriores.
- La cantidad de residuos agrícolas aumenta en forma lineal con el incremento de los rendimientos cañeros.
- La relación residuos/tallos permanece constante en cada cosecha.
- Para la variedad Mex 69-290 se puede estimar la producción de residuos agrícolas en base seca a partir del rendimiento de tallos y el valor medio 0.171 Mg residuos.Mg tallos⁻¹.

REFERENCIAS

1. Ishikawa, S.; Ando, S.; Sakaigaichi, T.; Terajima, Y.; Sugiura, M. y Matsuoka, M. Dry matter production and N accumulation in sugarcane for use as animal feed. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (26:2007), 2007. p. 289-297.
2. Graham, M. H.; Haynes, R. J. y Meyer, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science*, 2002, vol. 53, p. 589-598.
3. Meier, E. A.; Thorburn, P. J.; Wagener, M. K. y Basford, K. E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2006, vol. 75, p. 101-114.
4. Kingston, G.; Donzelli, J. L.; Meyer, J. H.; Richard, E. P.; Seeruttun, S.; Torres, J. y Van Antwerpen, R. Impact of the green-cane harvest production system on the agronomy of sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (25:2005), 2005, p. 521-533.
5. Olivier, F. C. y Singels, A. Effect of a trash blanket on irrigation water use efficiency of sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (26:2007), 2007, p. 404-408.
6. Vincent, P. H. y Krishnamurthi, M. Sugarcane trash collection at the small farms in Southern India. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (26:2007), 2007, p. 114-120.
7. García, A. E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3^a ed. México:UNAM, 1981, 105 p.
8. Pohlan, J. y Borgman, J. Traditionelle Praktiken der Unkrautbekämpfung in bedeutsamen Kulturen Mittelamerikas-Ursache von Verlust der Bodenfruchtbarkeit und Erosion. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh.*, 2000, vol. 27, p. 761-768.
9. Marroquín, A. F. J.; Pohlan, H. A. J.; Toledo, T. E.; Janssens, M. J. J. y Simón, C. A. Efectos de cultivos intercalados sobre la cenosis de arvenses en mango y rambután en el Soconusco, Chiapas. En Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza, (27, nov. 22-24:2006), 2006.
10. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006. Rome:FAO, World Soil Resources Reports, 2006. 145 p.
11. INICA. Informe del estudio del suelo para el manejo Integrado de la caña de azúcar en el ingenio Santo Domingo, Huixtla, Chiapas, México, 2002. 45 p.
12. Sánchez, N. F. Materia Prima, Caña de Azúcar. C. México: Editorial Porrúa Hermanos. 1992, 582 p.
13. Resende, S. de; Xavier, P.; Oliveira, O. de; Urquiaga, S.; Bruno J. R. y Robert, M. Boddey. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N. E. Brazil. *Plant and Soil*, 2006, vol. 281, p. 339-351.
14. Viator, R. P.; Johnson, R. M. y Richard, E. P. Jr. Challenges of postharvest residue management in the Louisiana sugarcane industry. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, (25th ISSCT Congress), 2005, p. 238-245.
15. Viator, R. P.; Johnson, R. M.; Grimm, C. C. y Richard, E. P. Jr. Allelopathic, autotoxic and hormetic effects of postharvest sugarcane residue. *Agron. J.*, 2006, vol. 98, p. 1526-1531.
16. Cabrera, A.; López, M. y Villegas, R. Estimado de las emisiones de C por la quema de agroecosistemas cañeros. En: International Symposium on Environmental Biogeochemistry. Biogeochemistry of Ecosystems (11:1994:Salamanca, España), 1994. p. 83-90.
17. Núñez, O. y Spaans, E. Evaluation of green cane harvesting and crop management with a trash-blanket. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, (26:2007), 2007, p. 131-142.
18. Leal, M. R. L. V. The potential of sugarcane as an energy source. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (26:2007), 2007, p. 23-34.
19. Romero, E. R.; Scandaliaris, J.; Digonzelli, P.; Alonso, L.; Leggio-Neme, F.; Giardina, J.; Casen, S.; Tonatto, J. y Fernández de Ullivarri, J. Sugarcane potential trash estimation: variety and cane yield effect. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, (26:2007), 2007, p. 421-425.
20. Hassuanni, S. J. Sugarcane trash recovery for use in power generation. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* (24:2001), 2001, p. 192-196.
21. Rein, P. W. Prospect for the conversion of a sugar mill into a biorefinery. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, (26:2007), 2007, p. 44-60.

Recibido: 21 de julio de 2008

Aceptado: 7 de octubre de 2008