

Contribución del Sector Cañero a la Mitigación del Cambio Climático

Johnny Montenegro Ballestero¹

Marco Chaves Solera²

INTRODUCCIÓN

La emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) que se producen como resultado de las diferentes actividades desarrolladas por el hombre, y que se acumulan en la atmosfera, están teniendo un efecto importante en el calentamiento global que induce y produce el cambio climático. La evidencia científica demuestra que durante los últimos siglos la concentración de estos gases se incrementó significativamente.

El Sector Agropecuario Costarricense, al igual que otras actividades de carácter socio económico desarrolladas en el país, emite y contribuye con la presencia de este tipo de gases. De acuerdo con el **Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero** realizado por el INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (2009), se conoce que el sector agropecuario en el año 2005 fue el responsable de la emisión del 37% de CO₂ equivalente en Costa Rica. Del total de gases emitido solamente por el sector agrícola (sin incluir al sector ganadero) y proveniente del Óxido Nitroso, el cultivo de la caña de azúcar se estima que emitió ese año aproximadamente 138.470 tons de CO₂ equivalente, lo cual representa alrededor del 21%. Esta emisión durante la fase de cultivo proviene exclusivamente del Óxido Nitroso; sin embargo, las plantaciones de caña también tienen la capacidad mitigar el cambio climático mediante la captura y fijación del Carbono atmosférico, donde es virtud de sus características y dotación estructural, anatómica y

¹ Ingeniero Agrónomo, PhD. Funcionario del *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) – Instituto Meteorológico Nacional (IMN)*, Costa Rica. E-mail: jmontenegro@imn.ac.cr

² Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)*, Costa Rica. E-mail: mchavez@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284-6067 / Fax (506) 2223-0839.

Presentado en el *XVIII Congreso Azucarero Nacional ATACORI “Lic. Teresita Rodríguez Salas (†)”* organizado por la *Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*, celebrado el 8 y 9 de Setiembre del 2011 en el Colegio de Ingenieros Agrónomos.

metabólica comparativamente muy eficiente respecto a otras plantas (MONTENEGRO y CHAVES, 2009).

Entonces la pregunta que también debemos hacernos es ¿Está el cultivo de caña de azúcar fijando Carbono atmosférico?, y en cuyo caso la respuesta sea positiva ¿Cuanto Carbono atmosférico está fijando el sector cañero? Usualmente no conocemos la respuesta a esta pregunta en consideración de que es muy poca, o inexistente, la investigación realizada en el país en cuanto a referenciar cultivos y sectores productivos. Si conocemos con mayor amplitud por el contrario la fijación que realiza el componente arbóreo, y por ello cuando se habla de fijación de Carbono normalmente solo se piensa en árboles y bosques, lo cual no es correcto en un país que pretende y tiene metas nacionales y no apenas sectoriales.

Las plantas de caña de azúcar poseen un mecanismo fotosintético tipo C₄ el cual es muy eficiente fijando CO₂ atmosférico (MONTENEGRO 2000; MONTENEGRO y ABARCA 2001; MONTENEGRO y CHAVES 2009). Por ejemplo, para la última Zafra azucarera (2010-2011) que presentó un promedio nacional de 61,35 toneladas de caña ha⁻¹, sin considerar el componente radical y foliar, se estimó que durante ese ciclo productivo de un año la caña capturó un total de **23 tons de CO₂ ha⁻¹**. Ahora la pregunta es ¿Como compara esta fijación con la realizada por una plantación forestal? De acuerdo con ROJAS *et al.* (2004), en el caso de plantaciones forestales de Melina, la fijación es del orden de las 12 toneladas de Carbono por hectárea por año, valor que es aproximadamente el 50% de la cantidad fijada por la caña. Mayores incrementos pero menores a 20 m³ ha⁻¹ fueron reportados por FONSECA (2004) en plantaciones de Teca.

En consecuencia, si las plantaciones forestales están siendo promovidas muy activamente gozando de ventajas en cuanto a incentivos por su capacidad de fijar CO₂ atmosférico, también creemos algún beneficio ambiental importante y positivo relacionado con cambio climático debe de estar causando la actividad cañera, dado que difícilmente existe otro cultivo comercial extensivo-intensivo como la caña, que tenga la capacidad de fijar tales cantidades de Dióxido de Carbono.

Sin embargo, hay que reconocer que la ejecución de algunas prácticas agrícolas inconvenientes desde esta perspectiva ambiental y que son efectuadas con alguna regularidad, tienen efectos detrimentales en el beneficio potencial que causa el cultivo de la caña de azúcar, el cual se ve reducido.

Existe evidencia internacional que muestra que los suelos sembrados con caña donde se practica regularmente la quema para cosechar, presentan menores contenidos de Carbono con respecto a suelos de cañaverales donde no se quema. En este sentido, CANELLAS *et al.* (2003) reportó que después de varios años sin quemar, la concentración de Carbono del suelo fue 9,21 g kg⁻¹ suelo mayor que donde se quemó la plantación. De igual manera, RAZAFIMBIELO *et al.* (2006) determinó que después de seis años de tratamiento sin quemar, el contenido de Carbono del suelo fue 15% mayor comparado al tratamiento con quema. Esto demuestra claramente que la quema es un factor de producción agrícola que limita en grado importante el incremento del Carbono del suelo; sin embargo, no se conoce la magnitud de la fijación de Carbono generada por el cultivo de la caña de azúcar a nivel nacional. Es un tema aún sin investigación pese a ser ventajoso para la agroindustria.

Cabe reseñar que la ejecución de la quema como práctica agrícola tradicional está fundamentada en criterios casi de “*fuera mayor*” para el productor de caña virtud de exigencias y necesidades perentorias ampliamente comentadas y de todos conocidas, como lo han apuntado exhaustivamente varios autores (CHAVES y ALFARO 1996; CHAVES y BERMÚDEZ 2006abcd; CHAVES 2009abc; CHAVES 2010).

Esta realidad motiva que prescindir de la práctica de quemar las plantaciones para realizar su cosecha no resulta fácil y viable en muchos casos en el corto plazo, pues se carece de medidas tecnológicas, facilidades e incentivos económicos o de otra modalidad complementarias que pudieran atenuar el impacto productivo y sobre todo económico para el agricultor, como fue inclusive reconocido por la Sala Constitucional en su histórico Fallo dado por el **VOTO N° 2007-017552 de las 12:22 horas del 30 de noviembre del 2007**. Por medio de dicho fallo, la Sala Constitucional rechazó unánimemente la Acción de Inconstitucionalidad presentada contra el Decreto Ejecutivo N°23850-MAG-SP de diciembre de 1994 “*Reglamento de Quemadas Controladas para Fines Agrícolas y*

Pecuarios". Dicha normativa fue posteriormente sustituida por el Decreto Ejecutivo N° 35368-MAG-S-MINAET del 6 de mayo y publicado en el Diario Oficial La Gaceta N° 147 del 30 de julio del 2009, el cual está actualmente vigente. Los análisis, valoraciones y juzgamientos que se hagan sobre la quema de cañaverales nunca debe ser unilateral y tomando como base exclusivamente criterios ambientales, tal como lo demuestra el Voto de la Sala en su argumentación.

Por esta razón, el principal propósito y objetivo fundamental de este trabajo fue realizar una estimación básica y preliminar de la cantidad de Carbono que la actividad cañera podría estar fijando anualmente en nuestro país y, determinar las necesidades de investigación para la generación de información requerida para conocer fidedignamente la contribución del cultivo de caña de azúcar a la mitigación del cambio climático.

METODOLOGÍA

Para la presente investigación se analizó la información estadística relacionada con el área sembrada y particularmente la cosechada, la producción de tallos industrializables y azúcar (TM) obtenida a nivel nacional, la cual fue aportada por LAICA (2011). También se realizó una amplia investigación bibliográfica para obtener los valores de diferentes fracciones vegetales generadas por la planta, los cuales fueron utilizados para estimar con buen criterio la fijación de Carbono en cada componente, tal y como se detalla en la siguiente sección.

Consideraciones:

I. TALLOS:

Para estimar este componente se consideró el promedio de producción nacional de materia prima correspondiente a tallos industrializables (LAICA 2011), el cual se multiplicó por un índice de 0,25 para obtener la cantidad de bagazo producido y por 0,5 para obtener el contenido de materia seca presente (PERNALETE *et al.* 2008). El resultado obtenido se transformó a Carbono multiplicando por un factor de 0,5 (factor internacionalmente aceptado y utilizado en diversas publicaciones). Para la producción de azúcar se consideró

que la misma representó el 10% de los tallos producidos lo cual es equivalente a un rendimiento industrial y de concentración de sacarosa de 100 kg/TM de caña (LAICA 2011), y un valor de 95% de materia seca, con un contenido de 42% de Carbono.

Para el presente trabajo se tomó como referencia y partida la Zafra de 1969/1970, y se obtuvieron las diferencias anuales tal y como está estipulado en las guías metodológicas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2006 por sus siglas en inglés) para realizar los inventarios nacionales, diferencias anuales que fueron graficadas.

II. HOJAS:

Se consideró que la producción foliar representó el 18% de toda la biomasa aérea. Esta fracción se multiplicó por un índice de 0,23 para obtener el contenido de materia seca, y se transformó en Carbono utilizando el mismo factor antes mencionado para los tallos. También se consideró con base en información de LAICA que el 50% de las fincas no queman sus plantaciones comerciales, y que esta práctica reduce a cero la incorporación de biomasa aérea al Carbono del suelo. Del total obtenido se estimó que el 92% se descompone durante el primer año (SINGELS *et al.* 2005), y a partir del segundo año se da una tasa de descomposición del 5% anual.

III. RAÍZ:

De manera similar que se dio con el componente foliar, se consideró que la raíz representó el 8% de la biomasa total de la planta (SMITH *et al.* 2005), un contenido de 23% de materia seca y el mismo factor de conversión a Carbono. La tasa de descomposición durante el primer año fue de 90%, y 5% anual a partir del segundo año.

RESULTADOS

I. CARBONO PRESENTE EN LOS TALLOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Tal y como se observa en la Figura 1, las diferencias anuales del promedio de tallos de caña producidos presentan fluctuaciones importantes y significativas debido a diversas razones, entre las que destacan las económicas y de clima, lo cual hace que no se presenten incrementos sostenidos en la productividad agroindustrial. A pesar de ello, el promedio de los últimos 41 años, calculado de acuerdo con la metodología propuesta por el IPCC (2006), ha sido positivo puesto que en términos ambientales, **la producción de caña ha incrementado en 67 kg ha⁻¹ a⁻¹ la cantidad de CO₂ en su ciclo productivo.**

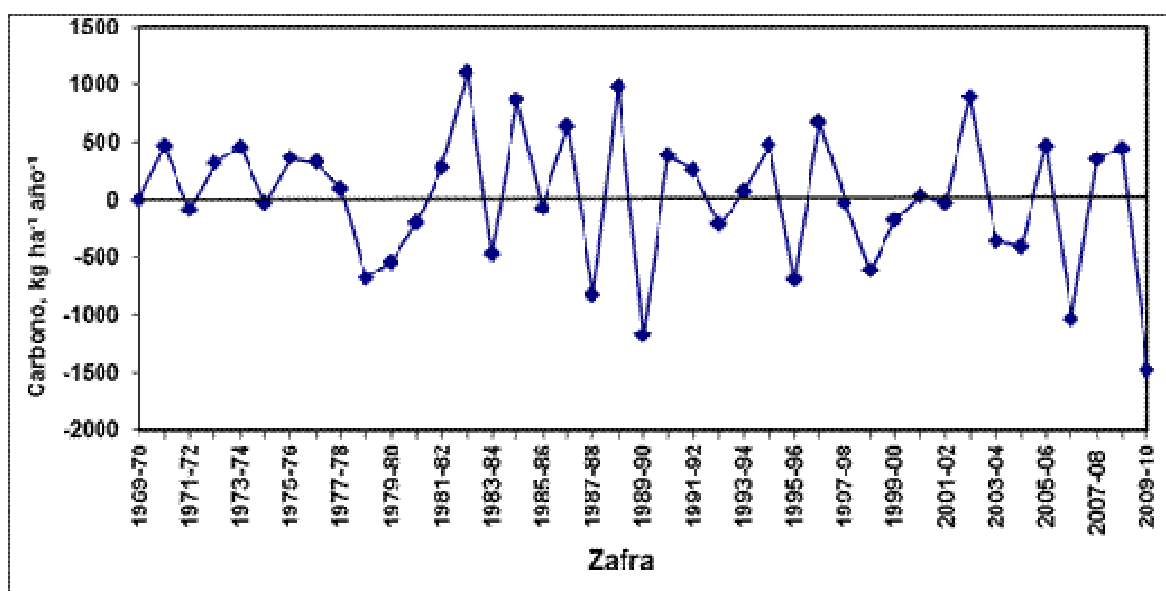


Figura 1. Cambio anual en el contenido de Carbono, kg ha⁻¹, en los tallos de caña de azúcar.

El resultado anterior demuestra claramente que las medidas de adaptación y ajuste tecnológico ejecutadas continuamente en el cultivo de la caña de azúcar logradas mediante la mejora genética y el manejo agronómico, no solo se manifiesta y expresa en incrementos en la productividad agroindustrial y probablemente en materia económica; también ello va acompañado de un claro beneficio ambiental que debe sin embargo aún medirse. Se infiere de lo anterior que debemos tener presente que en este sector, al igual que ocurre en todo el

sector agropecuario, los ingentes esfuerzos realizados de manera permanente para procurar mejorar el cultivo y sus índices técnicos y socioeconómicos, usualmente contribuyen a la solución del cambio climático. Esta es una ventaja que es casi exclusivo y este sector tiene y el cual debemos de aprovechar para beneficio de los productores agropecuarios.

II. CARBONO DEL SUELO

El contenido de Carbono del suelo, que se origina básicamente de la incorporación y degradación de residuos vegetales (de las áreas donde no se quema) y del excepcional sistema radicular que posee la caña (MONTENEGRO y CHAVES 2009), se presenta en las Figuras 2 y 3. En ambos casos se puede notar que se presenta un incremento sostenido en el tiempo en la cantidad de Carbono presente en el suelo.

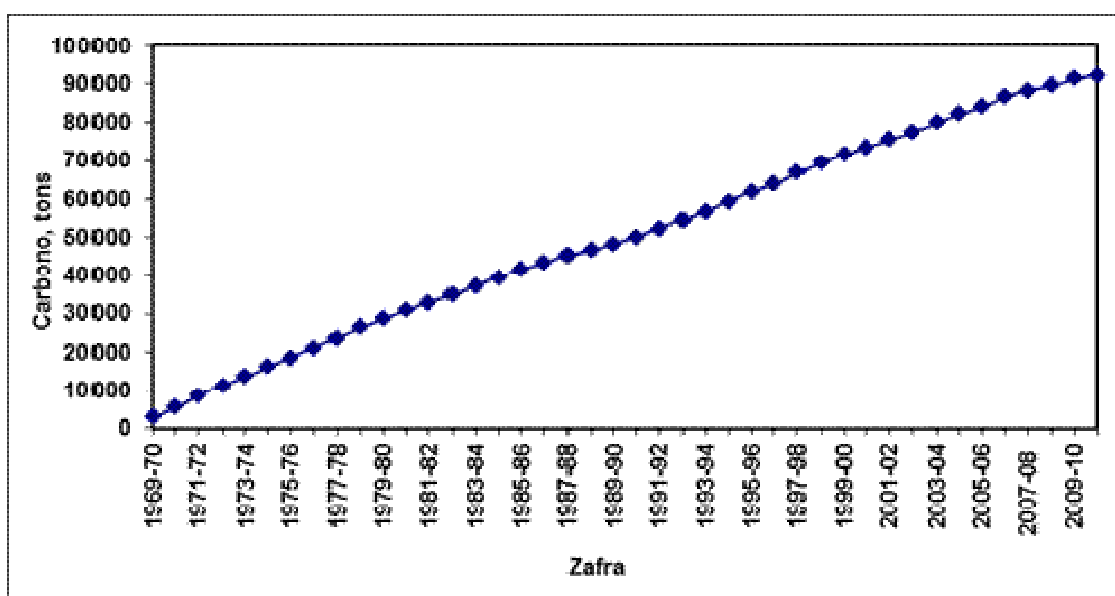


Figura 2. Cambio en el contenido de carbono del suelo, TM, proveniente de la incorporación del componente vegetal foliar.

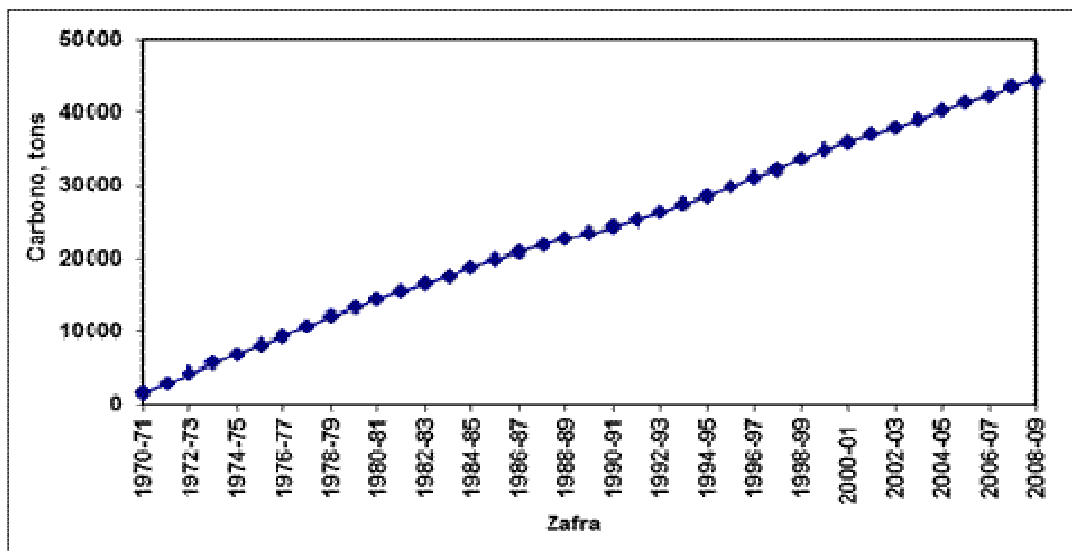


Figura 3. Incremento en el contenido de Carbono del suelo, TM, por la incorporación del componente radicular de la caña de azúcar.

El componente foliar de caña se estima que aporta un total de **208 kg de CO₂ ha⁻¹ a⁻¹** mientras que el sistema radicular incrementa el contenido de Carbono del suelo en **104 kg de CO₂ ha⁻¹ a⁻¹**. Ello demuestra la importancia y el beneficio ambiental generado por estos dos componentes. Además, debemos recordar que cuando se habla de incremento o reducción de Carbono del suelo, ello se refiere y va directamente vinculado a un incremento o decrecimiento del contenido de la Materia Orgánica, lo cual está directamente relacionado con la fertilidad del suelo. En consecuencia cada vez que protegemos el suelo y realizamos prácticas que contribuyen a incrementar el contenido del Materia Orgánica y por ende el Carbono del suelo, se está incrementando la fertilidad y las características deseables del mismo que favorecen el desarrollo radicular y la producción de los cultivos.

Por lo general, las buenas prácticas agronómicas que favorecen el desarrollo integral y armónico de los cultivos y su producción agroindustrial, también favorecen en alto grado al ambiente ya que tienden a ser parte de la solución del cambio climático. Sin embargo, se requiere y resulta necesario desarrollar la investigación necesaria en las plantaciones de caña de azúcar, para determinar *in situ* la verdadera magnitud del cambio inducido en el contenido del Carbono del suelo, lo cual permitirá corroborar la anterior aseveración.

De manera que, con las consideraciones del caso y con base en las estimaciones realizadas, si sumamos el potencial de incremento del contenido de Carbono del suelo y el incremento registrado en los tallos industrializables cosechados y procesados en el Ingenio, se obtiene que **la actividad cañera en cada hectárea sembrada y cada año retira de la atmósfera aproximadamente 379 kg de CO₂**, y si multiplicamos este valor por las hectáreas cosechadas en la última Zafra (2010-2011) y que totalizaron 54.300 has, obtenemos que **el sector cañero removi6 en el periodo 2010/2011 un total de 19.815 tons de CO₂ atmosférico**. Ello quiere decir con base en criterios conocidos, que para fijar esta misma cantidad de CO₂, **en el a6o 2010 el sector forestal necesit6 sembrar un equivalente de aproximadamente 1.651 hectáreas de alguna especie forestal apropiada**.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones establecidas en la presente investigación y con base en los resultados obtenidos, se puede concluir con buen criterio que:

- 1) La planta de ca6a posee un elevado componente de biomasa que aporta cantidades importantes de Carbono Orgánico al medio.
- 2) El cultivo de la ca6a de azúcar podría estar contribuyendo significativamente con el ambiente en lo relacionado con cambio climático, al fijar Carbono atmosférico en cantidades importantes.
- 3) Partiendo de la Zafra 1969 -1970, los suelos sembrados con ca6a muestran un incremento sostenido de en el contenido de Carbono Orgánico incorporado, el cual debe sin embargo medirse.
- 4) Los suelos sembrados con ca6a podrían estar capturando y fijando en promedio por hectárea y por a6o, cerca de 312 kg de CO₂.
- 5) Es necesario realizar estudios de campo que permitan corroborar científicamente esta informaci6n determinándola en los diferentes ambientes productivos del pa6s.

- 6) El rendimiento promedio de tallos industrializables cosechado (TM/ha), se ha incrementado en el tiempo (resultado del mejoramiento de los factores genéticos, nutricionales y de manejo agronómico, entre otros), lo cual influye positivamente en la cantidad de Carbono que se encuentra y participa en el ciclo productivo. La Zafra 2010/11 fue sin embargo muy deficiente en términos productivos agroindustriales al caer significativamente los rendimientos.
- 7) De acuerdo con la Metodología del IPCC (2006), este aporte incremental representa en promedio por hectárea y por año, aproximadamente 67 kg de CO₂.
- 8) En términos promedio por hectárea y por año, la caña de azúcar se estima que está capturando aproximadamente 379 kg de CO₂.
- 9) A nivel nacional y de manera integral, la caña de azúcar podría estar fijando en las 54.300 has cosechadas en la Zafra del 2010-2011, cerca de 19.815 TM de CO₂.
- 10) Para fijar esta misma cantidad de CO₂ fijada por el cultivo de la caña en el año 2010, el sector forestal necesitó sembrar un equivalente de aproximadamente 1.651 hectáreas de alguna especie forestal apropiada.
- 11) No hay duda que el cultivo de la caña de azúcar participa y contribuye virtud de sus características anatómicas y metabólicas excepcionales, de manera positiva a la mitigación del cambio climático; aporte que podría ser sin embargo muy superior, caso se realicen ajustes de fondo al sistema de producción tradicional de la caña, entre los que están entre otros los siguientes: *a) prescindir de la quema, b) reducir y optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados reduciendo la emisión de N₂O, c) reducir la emisión de Metano, d) incrementar el empleo de fertilizantes orgánicos y e) aprovechar mediante compostaje los residuos vegetales que se generan durante el ciclo vegetativo del cultivo.*
- 12) La naturaleza y propiedades de la planta de caña y características fenológicas del cultivo, favorecen y potencian un manejo más apegado a criterios ambientales que podrían eventualmente posicionar a la agroindustria azucarera nacional en una

condición comercial más relevante y ventajosa, en consideración de las exigencias del mercado.

- SE RECOMIENDA:

- 1) Realizar investigación específica de mediano plazo que permita determinar de manera sistemática, los cambios acontecidos en el contenido de Carbono Orgánico en el suelo y, con ello, corroborar la información expuesta en esta presentación.
- 2) Realizar balances de Gases con Efecto Invernadero (GEI), para tener una visión completa e integral del efecto global que estaría produciendo el cultivo de caña de azúcar con respecto a su participación e impacto (\pm) en el cambio climático.
- 3) Existe evidencia científica que muestra la presencia de menores contenidos de Carbono en el suelo con la ejecución de la práctica de quema de residuos y plantaciones, por lo que se requiere desestimular prudente, sistemática y racionalmente esta práctica y con ello lograr más beneficios ambientales asociados con este cultivo. Resulta imperativo aplicar estímulos que coadyuven.
- 4) Es importante generar iniciativas de concientización e incentivo dirigidas al productor de caña, que motiven y favorezcan la adopción de prácticas de manejo orientadas a contribuir más efectivamente con el medio ambiente.

LITERATURA CITADA

- 1) CANELLAS, L.; VELLOSO, A.; MARCIANO, C.; RAMALHO, J.; RUMJANEK, V.; REZENDE, E.; SANTOS, G. 2003. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 27:935-944.
- 2) CHAVES SOLERA, M.A. 2010. Quemias agrícolas controladas. Revista Germinar (Costa Rica), Colegio de Ingenieros Agrónomos, N° 1, Edición N° 1, abril. p:19.
- 3) CHAVES SOLERA, M. 2009a. Nueva reglamentación para quema de cañales. *En:* Boletín Informativo “*Conexión*”, Volumen 1, Número 2, diciembre 2009-Febrero 2010, LAICA, San José, Costa Rica. p:3.

- 4) CHAVES SOLERA, M. 2009b. Nueva reglamentación para quemar cañaverales en Costa Rica: *una interpretación simple y pragmática de sus alcances*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 14 p.
- 5) CHAVES SOLERA, M. 2009c. Solicitud del permiso y presentación del plan de quema controlada de una plantación comercial de caña de azúcar: *desarrollo de un ejemplo práctico*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 16 p.
- 6) CHAVES, M.; ALFARO, R. 1996. La Quema de la Caña de Azúcar en Costa Rica. En: *Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3 y Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación de Fitopatología, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo: EUNED, EUNA. Volumen 1. p: 312.
- 7) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ LORÍA, A. 2006a. Consideraciones para la Quema Tecnificada de una Plantación Comercial de Caña de Azúcar en Costa Rica. En: *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA)*, 16, *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*, 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I. p: 254-260.
- 8) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ LORIA, A. 2006b. Motivos y Razones para Quemar las Plantaciones de Caña de Azúcar en Costa Rica. Políticas para la Agroindustria Azucarera Costarricense. En: *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA)*, 16, *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*, 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I. p: 248-253.
- 9) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ LORIA, A. 2006c. Quema Regulada de Plantaciones para la Cosecha de la Caña de Azúcar en Costa Rica: Consideraciones Legales. En: *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA)*, 16, *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*, 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I. p: 267-271.
- 10) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ LORIA, A. 2006d. Regulaciones Internacionales sobre Quema de la Caña de Azúcar. En: *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA)*, 16, *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*, 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I. p: 261-266.

- 11) FONSECA GONZÁLEZ, W. 2004. Manual para productores de Teca (*Tectona grandis L. f*) en Costa Rica. 121 p.
- 12) GALDOS, M.; CERRI, C.; CERRI, C. 2009. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *GEODERMA* 153:347-352.
- 13) IMN. 2009. Segunda Comunicación Nacional: *Inventario Nacional de gases con efecto invernadero*. 212p.
- 14) IPCC. 2006. Guías metodológicas para la confección de inventarios nacionales de Gases con Efecto Invernadero.
- 15) LAICA. 2011. Estadísticas sobre Agroindustria de la caña de azúcar.
- 16) MONTENEGRO BALLESTERO, J.; CHAVES SOLERA. M. 2009. Emisión de gases por la caña de azúcar: *propuesta metodológica para realizar un balance de carbono*. En: Congreso Azucarero ATACORI “Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.”, 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009. 18 p.
- 17) MONTENEGRO B., J.; ABARCA M., S. 2001. Emisión de Gases con Efecto Invernadero y Fijación de Carbono en Caña de Azúcar. En: Importancia del Sector Agropecuario Costarricense en la Mitigación del Calentamiento Global. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería: Instituto Meteorológico Nacional. p:83-88.
- 18) MONTENEGRO, J. 2000. Emisión de Gases con Efecto Invernadero y Fijación de Carbono en Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) en Costa Rica. En: Congreso ATALAC, 5, ATACA, 13 y Congreso ATACORI “Ing. Álvaro Jenkins”, 14, Costa Rica, setiembre del 2000., Memoria Trabajos. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). I Tomo. p: 120-130.
- 19) PERNALETE, Z.; PIÑA, F.; SUAREZ, M.; FERRER, A.; AIELLO, C. 2008. Fraccionamiento del bagazo de la caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: *el efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoniaco*. *BIOAGRO* 20:3-10.

- 20) ROJAS RODRÍGUEZ, F.; ARIAS AGUILAR, D.; MOYA ROQUE, R.; MEZA MONTOYA, A.; MURILLO GAMBOA, O.; ARGUEDAS GAMBOA, M. 2004. Manual para productores de Melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. 314 p.
- 21) SMITH, D.; INMAN-BAMBER, NG.; THORBURN, P. 2005. Growth and function of the sugar cane root system. *Field Crops Res* 92:169–183. doi:10.1016/j.fcr.2005.01.017
- 22) SINGELS, A.; DONALDSON, RA.; SMIT, MA. 2005. Improving biomass production and partitioning in sugar cane: theory and practice. *Field Crops Res* 92:291–303. doi:10.1016/j.fcr.2005.01.022