

# Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia

## Estimation of the carbon footprint of the production system of sugar cane (*Saccharum officinarum*) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia

### *Estimativa da pegada de carbono do sistema de produção de cana de açúcar (Saccharum officinarum) em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia*

Hernán J. Andrade<sup>1</sup>, Milena A. Segura<sup>2</sup> & Juan Pablo Varona<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo, Magister en Agroforestería, Doctor en Agroforestería. <sup>2</sup>Ingeniera Forestal, Magister en Socioeconomía Ambiental. <sup>3</sup>Biólogo.

<sup>1,2,3</sup>Departamento de Producción y Sanidad Vegetal – Grupo de Investigación PROECUT. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

hjandrade@ut.edu.co<sup>1</sup>, masegura@ut.edu.co<sup>2</sup>, jp\_varona@hotmail.com<sup>3</sup>

## Resumen

El vínculo entre el cambio climático actual y la producción agrícola ha dispuesto que la huella de carbono sea usada como indicador mundial para evaluar la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por unidad de producto. El sector azucarero en Colombia es privilegiado gracias a los climas de sus regiones, y al contrario de lo que sucede en el resto del mundo con excepción de Hawái y el norte de Perú, se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año, no obstante es un sistema productivo netamente emisor de GEI. El objetivo de este estudio fue estimar la huella de carbono producida por la caña de azúcar en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, a partir de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el proceso de cultivo de caña de azúcar y la molienda. El uso de combustibles fósiles, químicos y fertilizantes orgánicos y los datos de biomasa de caña de azúcar durante el cultivo se

obtuvieron a partir de estudios de campo, cuestionarios y entrevistas. Los resultados muestran que la producción de azúcar tiene una huella de carbono que emite aproximadamente  $947 \pm 1381$  kg CO<sub>2</sub>e/ha/ciclo. Los fertilizantes nitrogenados fueron los que más aportaron a las emisiones de GEI, en un 73% del total, en contraste con el uso de combustibles fósiles y energía, cuya contribución está en 17% y 10%, respectivamente.

**Palabras clave:** cambio climático, emisión, fertilizantes, gases de efecto invernadero.

## Abstract

The link between the current climate change and agricultural production has allowed the carbon footprint to be used as an indicator to evaluate the amount of greenhouse effect gases (GHG) emitted per unit of product. The sugar sector in Colombia

is privileged thanks to the climates of their regions, and contrary to what happens in the rest of the world with the exception of Hawaii and North of Peru, you can sow and harvest cane during all months of the year, however, is a purely issuing production system of GHG. The objective of this study was to estimate the carbon footprint produced by sugar cane in the municipality of Palmira, Valle del Cauca, from emissions of greenhouse effect gases during the cultivation of sugar cane and grinding process. The use of organic fertilizers, chemicals and fossil fuels and data during cultivation sugar cane biomass were obtained from field studies, questionnaires and interviews. The results show that the production of sugar has a carbon footprint that emits approximately  $947 \pm 1381$  kg CO<sub>2</sub>e/ha/cycle. Nitrogen fertilizers were those who contributed the most to GHG emissions, 73% of the total, in contrast to the use of fossil fuels and energy, whose contribution is 17% and 10%, respectively.

**Keywords:** climate change, emission, fertilizers, greenhouse effect gases.

### Resumo

O vínculo entre a mudança climática atual e a produção agrícola tem prescrito que o vestígio

de carbono seja usado como indicador mundial para avaliar a quantidade de gases de efeito estufa (GEI) emitidos por unidade de produto. O setor açucareiro em Colômbia é privilegiado em virtude dos climas das suas regiões e, diferentemente do que acontece com o restante do mundo, exceto com Havaí e norte de Perú, se pode plantar e colher cana durante todos os meses do ano. No obstante, é um sistema produtivo netamente emissor de GEI. O objetivo deste estudo foi estimar o vestígio de carbono produzido pela cultura da cana de açúcar e a moagem. O uso de combustíveis fósseis, químicos e fertilizantes orgânicos e os dados de biomassa da cana de açúcar durante o cultivo, foram obtidos a partir de estudos de campo, questionários e entrevistas. Os resultados mostram que a produção de açúcar tem um vestígio de carbono que emite aproximadamente  $947 \pm 1381$  kg CO<sub>2</sub>e/ha/ciclo. Os fertilizantes nitrogenados foram os que mais aportaram às emissões de GEI (73% do total), em contraste com o uso de combustíveis fósseis e energia, cuja contribuição está em 17% e 10%, respectivamente.

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, emissão, fertilizantes, gases de efeito estufa

### Introducción

A nivel mundial, las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI; CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) se han incrementado de manera significativa desde 1750, probablemente como consecuencia de las actividades antropogénicas (IPCC, 2007, 2013). El aumento mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> se puede atribuir principalmente a la utilización de combustibles fósiles y al cambio de uso del suelo, mientras que las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O han venido mayormente de la agricultura (Smith *et al.*, 2008). Las actividades agrícolas contribuyen con el 13,5% de las emisiones mundiales de GEI (IPCC, 2007).

Colombia, dentro de su naturaleza agrícola, está caracterizada por los monocultivos tecnificados como caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa y yuca (Ballesteros & Sotelo, 2013). El sector azucarero colombiano juega un papel importante en el mercado mundial, ya que se obtuvo una producción de 2,28 millones de toneladas de azúcar durante 2007, ubicando al país como el décimo tercer productor de la Organización Internacional del Azúcar (OIA) y representando el 54% del PIB agrícola (Asocaña, 1997). La producción de caña de azúcar en el país se concentra en el

valle geográfico del río Cauca con una extensión de 199.975 ha dedicadas al cultivo.

La preocupación por el cambio climático ha impulsado las investigaciones sobre el impacto ambiental de productos agroindustriales en toda su cadena de producción (Lebel & Lorek, 2008). La huella de carbono es una herramienta introducida con el objetivo de cuantificar y, posteriormente, mitigar las emisiones de GEI de los productos industriales (Wiedmann & Minx, 2007). Por lo general, la huella de carbono representa la suma de todos los GEI liberados durante el ciclo de vida o parte del ciclo de vida de un producto (Segura & Andrade, 2012).

La huella de carbono de productos o servicios se obtiene mediante la medición de las emisiones de GEI que se generan en la cadena de producción, desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de residuos, pasando por la manufacturación y el transporte. A través de su análisis, las organizaciones pueden reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de emisiones que tienen lugar durante los procesos productivos (Asociación Española para la Calidad, 2011).

En este estudio se estimó la huella de carbono en el cultivo de caña de azúcar en el municipio de

Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Se incluye el ciclo de vida parcial del producto, considerando la emisión de GEI en la producción en las fincas. La aplicación de esta investigación ayudará al entorno regional y nacional en la toma de decisiones con conciencia ambiental sobre los sistemas utilizados para el desarrollo de su producción, la cual debe ser sostenible con el medio ambiente reduciendo emisiones GEI. Adicionalmente, se proponen alternativas de uso del suelo con las cuales se puedan mitigar los GEI en la producción de la caña de azúcar.

## Materiales y métodos.

### Área de estudio

El estudio se realizó en fincas de producción de caña de azúcar del corregimiento de Boyacá, municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia (Figura 1). El área se ubica dentro de la región sur del Valle del Cauca, a una altitud de 1001 msnm, sobre las coordenadas 3°31'48" N y 76°81'13" O (Gobernación del Valle, 2006). La fase de campo se realizó en diez fincas cultivadoras de caña, seleccionadas al azar, las cuales son manejadas directamente por sus propietarios, con un área mínima de terreno cultivado de 1 ha, cada una.



Figura 1. Localización del área de estudio en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

## Estimación de la huella de carbono.

El ciclo de vida de la producción de caña de azúcar se detalla en la Figura 2. Son cuatro las etapas del ciclo de vida del azúcar, es decir, el cultivo, la producción, el procesamiento y el transporte fueron considerados en este estudio.

La huella de carbono presentada en esta investigación incluye las emisiones de GEI a partir de la preparación de materias primas y la producción de la caña de azúcar, en consonancia con la idea “de la cuna a la puerta” enfoque descrito en la norma BSI EN ISO 14040 para la producción de azúcar (BSI, 2008).

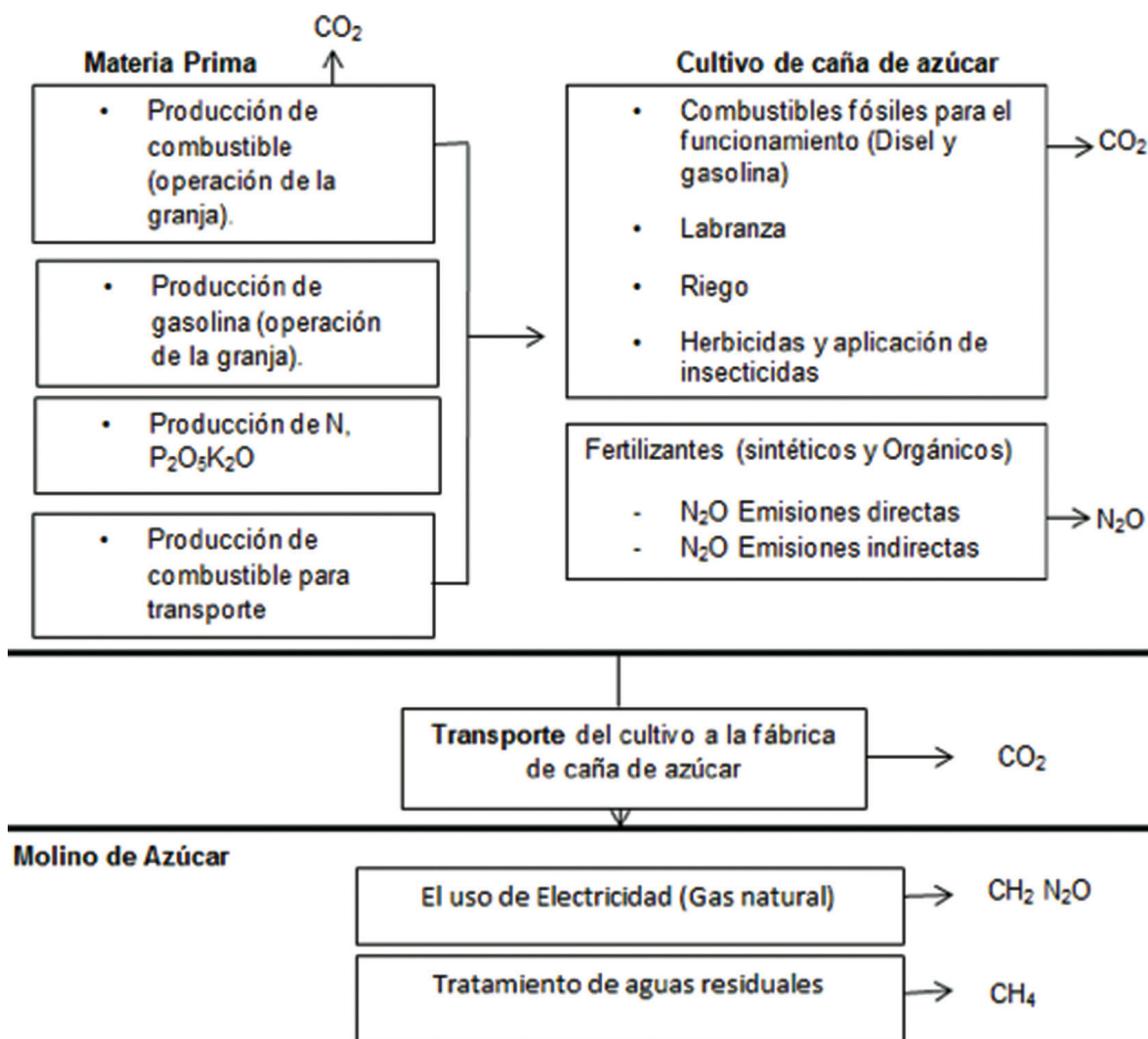


Figura 2. Límites del sistema del estudio.

Fuente: Adaptado de BSI (2008).

Los resultados de los flujos de GEI se calcularon en términos de un año de producción y por unidad de área en el caso de las fincas estudiadas. Igualmente, se estimó la huella de carbono por unidad de producto. Los GEI analizados fueron CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Cada gas se convierte en un CO<sub>2</sub>e, considerando el poder relativo de calentamiento de cada uno de ellos (IPCC, 2007).

El estudio calculó los insumos y energía empleados en la producción de caña de azúcar, desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha, y los que generan GEI. Se realizaron encuestas semiestructuradas a los agricultores dueños de predios, dueños de maquinaria, operarios y vendedores de insumos agrícolas, a los cuales se les realizó una serie de preguntas acerca de los

productos utilizados. Las encuestas incluían la dosis y número de aplicaciones de fertilizantes y otros agroquímicos, uso de energía, combustibles fósiles, labores realizadas como adecuación y preparación del terreno, mantenimiento del cultivo, corte y recolección de la caña y transporte. De la misma forma, se emplearon datos de estadísticas que cubren la mayoría de los agricultores de caña de azúcar y el área de cultivo en la región. La investigación consistió de los pasos metodológicos que se describen a continuación:

### 1-Fertilización nitrogenada.

En la encuesta se indagó sobre las dosis, tipo de fertilizantes y/o concentración de nitrógeno. Se estimó la cantidad de nitrógeno aplicada por hectárea y por ciclo del cultivo, lo cual se multiplicó por el factor de emisión recomendado por el IPCC: 0,01 kg N<sub>2</sub>O/kg N (IPCC, 2007).

### 2-Uso de combustibles fósiles.

Las estimaciones de emisión de uso de combustibles fósiles se realizaron para las actividades de manejo y transporte de la caña de azúcar. Se preguntó acerca de la duración de la labor, tipo y cantidad de combustible utilizado en las labores de manejo del cultivo. Se consideró el tipo de combustible, número de aplicaciones, cantidad de combustible empleado por hora y duración de la labor (horas efectivas/ha) en cada lote. Las actividades adicionales realizadas durante el momento previo a la cosecha en donde se requería combustible, también fueron tomadas en cuenta para calcular el total del combustible utilizado. El factor de emisión utilizado fue de 2,83 kg CO<sub>2</sub>e/l para diésel y 2,33 kg CO<sub>2</sub>e/l para gasolina (IPCC, 2007).

### 3-Electricidad.

La emisión de GEI causada por uso de electricidad se estimó sobre la base de la cantidad utilizada en el proceso de producción de caña de azúcar. Esta cantidad fue consultada durante las entrevistas y el

consumo de electricidad reportado en los recibos del último año. El factor de emisión utilizado fue de 130 g CO<sub>2</sub>e/kWh, el cual se recomienda para Colombia (Camargo, Arboleda & Cardona, 2013).

### 4-Huella de carbono.

La capacidad de calentamiento del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O fue usada para estimar las emisiones en términos de CO<sub>2</sub>e: 21g CO<sub>2</sub>e/g CH<sub>4</sub> y 310g CO<sub>2</sub>e/g N<sub>2</sub>O (IPCC, 2007). Luego de obtener los resultados de las emisiones de GEI por cada tipo de actividad, se sumaron para encontrar las emisiones totales por unidad de área y ciclo de cultivo. Este valor fue dividido por el rendimiento de caña de azúcar (t/ha/ciclo) para obtener la huella de carbono por unidad de caña de azúcar producida (kg CO<sub>2</sub>e/t).

### 5-Opciones para la mitigación mediante sistemas de uso del suelo.

Se consideró que las emisiones netas de GEI, es decir, la huella de carbono negativa, podría ser compensada con la fijación de carbono en biomasa en algunos sistemas de uso del suelo de regiones en Colombia. Se tomaron como ejemplos: sistemas de cacaotales en monocultivo en Armero-Guayabal (4,0 t CO<sub>2</sub>e/ha; Andrade *et al.*, 2014a), cafetales en monocultivo y con árboles en el Líbano, Tolima (1,5 y 3,7 t CO<sub>2</sub>e/ha, respectivamente; Andrade *et al.*, 2014b), sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi; 2,5 t CO<sub>2</sub>e/ha/año) y SSPi con árboles maderables (13,2 t CO<sub>2</sub>e/ha/año; Arcos - en preparación). Con base en las tasas de fijación de carbono, se estimó el área necesaria de cada sistema para compensar la huella negativa de la producción de caña de azúcar.

## Resultados y discusión

Los productores de caña encuestados establecen y manejan la variedad CC8592 y son considerados pequeños, ya que cultivan 1,9 ha y

producen 115,8 t/ha/año (Tabla 1). Tal como era de esperarse, la fertilización nitrogenada es una importante actividad de manejo en estos siste-

mas de producción; contrastando con la electricidad y el uso de combustibles fósiles, los cuales son mucho menos relevantes.

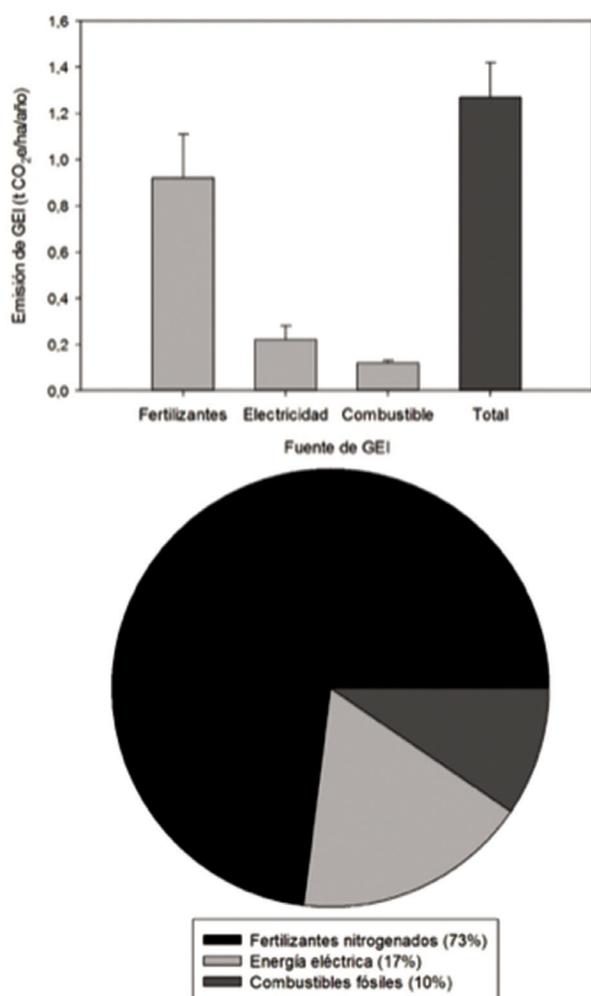
**Tabla 1.** Características generales y uso de insumos que generan gases de efecto invernadero en sistemas de producción de caña de azúcar en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Variable	Unidad	Media $\pm$ error estándar
Área cultivada	ha	1,9 $\pm$ 0,4
Producción	t/ha/año	115,8 $\pm$ 4,7
Fertilizantes	kg N/ha/año	297,3 $\pm$ 59,7
Electricidad	kWh/ha/año	1691,5 $\pm$ 445,6
Combustibles fósiles (diésel)	l/ha/año	44,1 $\pm$ 4,1

La contribución, en términos de emisión de GEI, del uso de herbicidas e insecticidas fue insignificante, ya que sólo contribuye con una pequeña fracción del uso de combustibles fósiles. Estos resultados coinciden totalmente con los hallazgos de Andrade *et al.* (2014a y 2014b). Se encontró que el uso de insumos para la estimación de la huella de carbono puede variar ampliamente dependiendo de las prácticas tradicionales agrícolas y del manejo del cultivo de cada agricultor, lo cual podría afectar significativamente el cálculo (Umaña, 2012).

La intensificación del uso del suelo tiene un efecto notable en la huella de carbono, Zambrano, Franquis & Infante (2004) aseguran que en cultivos convencionales hay perturbación de la tierra y del ambiente, lo cual disminuye la fertilidad y aumenta la contaminación del ambiente; pero para que el secuestro de carbono sea más efectivo se requieren prácticas de manejo adecuadas como la no aplicación de fertilizantes químicos ni la utilización de plaguicidas.

Se encontró que la producción de caña de azúcar en Palmira, Valle del Cauca, emite 1,3  $\pm$  0,15 t CO<sub>2</sub>e/ha/año. Como era de esperarse, esta actividad tiene un gran impacto en el cambio climático, al emitir gran cantidad de GEI. Estudios similares se han desarrollado en otras cadenas productivas, tal como el realizado por Andrade *et al.* (2014a), quienes encontraron altas emisiones de GEI en cultivos de arroz (1,0 t CO<sub>2</sub>e/ha/ciclo). En contraste, en sistemas de producción con leñosas perennes, Segura & Andrade (2012) encontraron huellas de carbono positivas en la cadena de producción de café en Costa Rica (4,0 a 14,4 t CO<sub>2</sub>e/ha/año). Umaña (2012) encontró que sistemas agrícolas, tales como cacao-plátano, maíz y caña de azúcar presentan una huella negativa (0,7 a 1,3 t CO<sub>2</sub>e/ha/año), siendo 1,3 tCO<sub>2</sub>e/ha al año el valor correspondiente a caña de azúcar. Según Andrade *et al.* (2014b), se ha demostrado que los sistemas de producción que involucran leñosas perennes, tales como los árboles maderables, tienen más posibilidades de ser amigables con el ambiente, en términos de huella de carbono.



**Figura 3.** Componentes de la emisión de gases de efecto invernadero en la producción de caña de azúcar en Palmira, Valle, Colombia. La figura superior denota los valores absolutos, mientras que la inferior se refiere a los relativos. Las barras de error corresponden al error estándar de la media.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados fue el rubro que más aportó a las emisiones de GEI, generando un 73% del total, en contraste con el uso de energía eléctrica y combustibles fósiles, cuya contribución estuvo entre 12 y 22%, respectivamente (Figura 3). La fertilización nitrogenada emite  $0,92 \pm 0,19$  kg CO<sub>2</sub>e/ha/año, debido a altas dosis aplicadas (156 – 234 kg N/ha/año). El uso de combustibles fósiles y energía en el proceso de producción de caña de azúcar emiten sólo 124 y 220 kg CO<sub>2</sub>e/ha/año, respectivamente.

En Guatemala, se estimó que las fuentes principales de emisiones de GEI en el proceso de producción de caña de azúcar son combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte (43%), uso de fertilizantes nitrogenados (24%) y las quemas antes de la cosecha (17%). Según Madriñán (2002), la quema de una hectárea de caña agrega al medio de 12 a 20 t CO<sub>2</sub> y consume alrededor de 1,2 t O<sub>2</sub> en el proceso de combustión; sin embargo, durante el crecimiento de la caña de azúcar, ésta absorbe cantidades mayores de CO<sub>2</sub>.

En Campoalegre (Huila, Colombia), se encontró que en sistemas de producción de arroz los fertilizantes nitrogenados son los responsables del 65% de la emisión de GEI. Umaña (2012) encontró valores muy similares para la contribución de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (64%) en la emisión total de GEI en sistemas de producción de maíz en Falan, Tolima, Colombia. Según Loeb, Bonilla, Gallardo & Tafur (1987), cuando el nitrógeno se aplica en dosis mayores a las necesarias o su distribución es inapropiada, pueden ocurrir pérdidas de 40 - 80%, principalmente por volatilización (0,5 a 20%), lixiviación (1 a 70%) y desnitrificación (25 a 90%). La aplicación de grandes cantidades de nitrógeno no siempre da como resultado el aumento del rendimiento; sin embargo, están contribuyendo a la emisión de N<sub>2</sub>O, cuyo poder de calentamiento es mucho mayor que el CO<sub>2</sub>.

En este estudio, se encontró una huella unitaria de  $10,9 \pm 1,1$  kg CO<sub>2</sub>e/t caña de azúcar. Estos valores son muy inferiores a lo encontrado por Andrade *et al.* (2014a) en arrozales de Campoalegre, Huila, Colombia (163 kg CO<sub>2</sub>e/t arroz); pero muy similares a los hallazgos de Bockel, Tinlot & Gentien (2010) en Madagascar (4,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg de arroz paddy o 7,2 kg CO<sub>2</sub>e/kg de arroz) y Yoshikawa, Ikeda, Amano & Shimada (2010) en Japón (1,9 kg CO<sub>2</sub>e/kg de arroz). Andrade *et al.* (2014b) encontraron huellas unitarias que duplican a lo encontrado en este estudio, pero en cafetales en monocultivo (22,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg de café molido).

Es importante considerar que el bagazo de la caña de azúcar tiene aplicaciones industriales en la generación de energía y se convierte en un mitigador del cambio climático (Diez, Cárdenas & Mentz, 2010), lo cual reduciría la huella de carbono de este sistema de producción.

### Relación entre la emisión de GEI y el área y la producción de caña

El rendimiento promedio en las unidades productivas fue de  $115,8 \pm 4,7$  t/ha/año, oscilando entre 89 y 138 t/ha/año. Se encontró una correlación positiva entre la producción y la emisión de GEI ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,01$ ). Por otro lado, la emisión de GEI se correlacionó negativamente con el área del

sistema de producción ( $r = -0,52$ ;  $p = 0,12$ ), es decir, la huella de carbono se reduce a medida que se incrementa el área de los lotes. Se observa en este caso, un fenómeno dependiente de la escala.

### Opciones para la mitigación mediante sistemas de producción agropecuario y forestal.

Tal como se detalló anteriormente, los sistemas de producción de caña de azúcar resultaron emisores netos de GEI, debido a su huella de carbono negativa ( $1,3$  t CO<sub>2</sub>e/ha/año). En la búsqueda de la neutralidad de carbono en esta actividad productiva, se deberían reducir estas emisiones y/o compensarlas en al menos la misma magnitud (Segura & Andrade, 2012; Andrade *et al.*, 2014a; Andrade *et al.*, 2014b).

**Tabla 2.** Uso de sistemas de producción agropecuario y forestal para mitigar las emisiones de GEI de la producción de caña en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Sistemas de producción	Tasa de fijación (t CO <sub>2</sub> e/ha/año)	Área (ha)*
Cacaotales monocultivo	4,0	0,3
Cafetales sin árboles	1,5	0,9
Cafetales con árboles	3,7	0,4
Sistemas silvopastoriles intensivos	2,5	0,5
SSPi con árboles maderables	13,2	0,1

\*Área necesaria para mitigar una emisión neta de  $1,3$  t CO<sub>2</sub>e/ha/año generados en la producción de caña de azúcar.

Se encontró que para mitigar una emisión neta de  $1,3$  t CO<sub>2</sub>e/ha al año producida en los arrozales estudiados, el mejor sistema de uso del suelo son los sistemas silvopastoriles intensivos con árboles maderables, ya que sólo se requeriría  $0,1$  ha. En contraste, se necesitarían entre  $0,3$  y  $0,9$  ha en caso de emplear cafetales con y sin árboles, cacaotales en monocultivo y sistemas silvopastoriles intensivos (Tabla 2).

### Conclusiones

La huella de carbono para el cultivo de caña de azúcar fue de  $1,3$  t CO<sub>2</sub>e/ha/año ( $10,1$  kg CO<sub>2</sub>e/t

caña), lo cual involucra el uso de fertilizantes nitrogenados, uso de energía eléctrica y combustibles fósiles. En esta huella la principal fuente de GEI fue la fertilización nitrogenada (68% del total de emisiones). A pesar de ser un cultivo emisor de GEI, los cañaduzales podrían convertirse en carbono-neutral si sus emisiones se compensan con sistemas de leñosas perennes, como cacaotales, cafetales o sistemas silvopastoriles intensivos.

Una de las estrategias para reducir la huella de carbono podría ser la intensificación de la

producción de caña de azúcar, concentrándola en fincas de mayor tamaño.

Se recomienda evaluar la huella de carbono en todos los procesos industriales de la caña de azúcar, para así tener un valor más preciso y poder replicarlos en otras regiones del país.

## Literatura citada

- Andrade, H.J., Campo, O. & Segura M.A. (2014a). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 15(1) 25-31.
- Andrade, H.J., Segura, M.A., Canal, D.S., Feria, M., Alvarado, J.J., Marín, L.M., Pachón, D. & Gómez M.J. (2014b). The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. 53-66 p. M. Oelberman (Ed.). Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. 272 p.
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. (1997). *Balance azucarero colombiano*. Recuperado de: <http://www.asocana.org/>
- Asociación Española para la calidad. (2011). Centro nacional de información de la calidad. Recuperado de: [http://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128](http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128).
- Ballesteros, K. & Sotelo, K. (2013). Estimación de la huella de carbono para una hectárea cultivada con caña de azúcar desde una perspectiva orgánica (tesis pregrado). Universidad ICESI, Santiago de Cali, Colombia.
- Bockel, L., Tinlot, M. & Gentien A. (2010). Climate mitigation potential of rice value chain: carbon balance of rice value chain - Strategic Scenarios in Madagascar towards 2020. Roma-Italia, FAO, 11 pp. Recuperado de: <http://bit.ly/1fah8ZF>
- British Standards Institution (2008). PAS 2050: 2008. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution, London, UK.
- Camargo, L.A., Arboleda, M.N. & Cardona, E. (2013). Producción de energía limpia en Colombia, la base para un crecimiento sostenible. *Boletín Virtual XM*, Compañía Expertos en Mercados, Filial de ISA, Colombia. Recuperado de: [http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia\\_Feb2013.pdf](http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf).
- Diez, O.A., Cárdenas, G.J. & Mentz, L.F. (2010). Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. De Tucumán* 87 (1): 29-38.
- Gobernación del Valle. (2006). *Información geográfica*. Recuperado de: <http://www.valledelcauca.gov.co/index.php>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge-UK and NY-USA, Cambridge University Press, 996
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.
- Lebel, L. & Lorek, S. (2008). Enabling sustainable production-consumption systems. *Annual Review of Environment and Resources* 33, 241e 275.
- Loeb, A., Bonilla, C.R., Gallardo, C.A. & Tafur, H. (1987). Efectos de algunas prácticas de manejo del agua sobre las pérdidas de nitrógeno en el cultivo de arroz. *Acta Agronómica* 37(4): 40-49.
- Madrián, C.E. (2002), Compilación y análisis sobre contaminación Del aire producida por la quema y la requema De la caña de azúcar; *Saccharum officinarum I*, En el valle geográfico del Rio Cauca. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Colombia, Palmira Valle del Cauca.
- Segura, M.A. & Andrade, H.J. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Luna Azul* 36: 60-77.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z.C., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., et al. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 363, 789e813.
- Umaña, J.A. (2012). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima. (Tesis de maestría), Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Wiedmann, T. & Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA UK Research Report 07-01. June 2007. Centre for Integrated Sustainability Analysis, Durham, UK.
- Yoshikawa, N. Ikeda, T., Amano, K. & Shimada, K. (2010). Carbon Footprint estimation and data sampling method: a case study of ecologically cultivated rice produced in Japan. VII International conference on Life Cycle Assessment in the agri-food sector Bari-Italia. Recuperado de: <http://www.riksmei.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2010lcafoodyoshikawanaoki.pdf>
- Zambrano, A., Franquis, F. & Infante, A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Revista Forestal*, 35, 11-20.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 19 de agosto de 2014

Aceptado: 30 de septiembre de 2014

