

Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia

Carbon footprint of the rice (*Oryza sativa*) production system in the municipality of Campoalegre, Huila, Colombia

Hernán J. Andrade¹, Oswald Campo², Milena Segura³

¹I.A. MSc, PhD. Docente-investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, hjandrade@ut.edu.co

²I.A. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, osleomega@hotmail.com

³I.F. MSc. Docente-investigador, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué, masegura@ut.edu.co

Fecha de recepción: 21/01/2013

Fecha de aceptación: 24/02/2014

ABSTRACT

Carbon footprint is a useful tool to estimate the impact of any production system on climate change, specifically in the net emission or fixation of greenhouse gasses (GHG). The rice cropping system has a large food, social and economical importance in the world; however, it is a net GHG-emitting productive system. The objective of this study was estimating the carbon footprint of the rice production in Campoalegre, Huila, Colombia. A total of 21 rice productive units, located at less than 15 km from the center of the municipality and with gravity irrigation, was selected. Through semi-structured interviews, all activities that emit GHGs, from land preparation to harvest grain, were investigated. It was consulted to producers and managers about the use of nitrogen fertilizers and fossil fuels and the yield of rice grain in each production unit. Factor of emission and warming-equivalence among GHG recommended by Intergovernmental Panel on Climate Change were employed. Carbon fixation rates estimated in Tolima were used to found alternative systems for mitigation of these emissions. It was found a total emission of 998.1 ± 365.3 kg CO₂e/ha/cycle (163.3 ± 55.8 kg CO₂e/t), having nitrogen fertilization being the greatest contribution (65%). Mitigation of this GHG emission would imply the establishment and management of 0.5 ha of cacao plantations without shade trees or coffee plantations with shade trees or 1.4 ha of monoculture coffee plantations.

Key words: climate change, emission, nitrogen fertilizers, greenhouse gases mitigation.

RESUMEN

La huella de carbono es un medio útil para estimar el impacto de cualquier sistema de producción en el cambio climático, específicamente en la emisión o fijación neta de gases de efecto invernadero (GEI). El cultivo de arroz tiene enorme importancia alimentaria, social y económica en el mundo; sin embargo, es un sistema productivo netamente emisor de GEI. El objetivo de este estudio fue estimar la huella de carbono en el proceso de producción de arroz en Campoalegre, Huila, Colombia. Se seleccionaron 21 unidades productivas de arroz, con riego por gravedad, localizadas a menos de 15 km del centro del municipio. Se indagaron, mediante entrevistas semiestructuradas, todas las actividades que emiten GEI desde la preparación del terreno hasta la cosecha del grano. Se consultó a los productores o administradores agrícolas sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y combustibles, y el rendimiento del grano en cada unidad de producción. Se emplearon los factores de emisión y de equivalencia de calentamiento entre GEI propuestos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Se emplearon tasas de fijación de carbono de sistemas de producción en el Tolima para estimar potenciales acciones de mitigación para esas emisiones. Se encontró una emisión total de $998,1 \pm 365,3$ kg CO₂e/ha por ciclo ($163,3 \pm 55,8$ kg CO₂e/t), y la fertilización nitrogenada de mayor contribución (65%). La mitigación de esta emisión de GEI implicaría el establecimiento y manejo de 0,5 ha de cacaotales sin árboles o de cafetales con árboles, o 1,4 ha de café en monocultivo.

Palabras claves: cambio climático, emisión, fertilizantes nitrogenados, gases de efecto invernadero, mitigación.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global sigue en ascenso, ya que la atmósfera y los océanos continúan calentándose, la nieve y el hielo disminuyendo y el nivel del mar se mantiene en alza. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), las concentraciones de gases de efecto invernadero -CO₂, CH₄ y N₂O-, los cuales retienen el calor reflejado por la superficie de la Tierra, se han incrementado desde los niveles pre-industriales; y dicho incremento (80% por año entre 1970 y 2004) está aumentando el cambio climático global (IPCC, 2007).

La huella de carbono se refiere a las emisiones directas de CO₂ y de otros GEI, así como la conversión a estos de todo tipo de consumo de recursos, y de los gases que se dejan de absorber por ocupación de espacios bioproductivos (Doménech, 2011; Valderrama, Espíndola & Quezada, 2011). Otra definición de la huella de carbono es “la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto” (UK Carbon Trust, 2008). En el caso de sistemas de uso del suelo que también fijen carbono en biomasa y/o suelo, se debe considerar esta variable en la estimación de la huella de carbono (Segura & Andrade, 2012).

El análisis de la huella de carbono implica estimar las más importantes fuentes o sumideros de las emisiones de GEI. Una de ellas es el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados y productos agroquímicos, lo cual es comúnmente realizado sin consultar a los asistentes técnicos, haciendo aplicaciones innecesarias y suministrando sobredosis de productos (Acosta-Buitrago, 2011). Otra de las causas del aumento de los GEI es la tala de bosques para ser utilizados en la actividad agrícola, contribuyendo a la extinción de especies que posiblemente nos ayudarían a mitigar el aumento de estos gases (Segura & Andrade, 2012). La degradación de suelos es otra de las causas de emisiones de GEI, al reducir el carbono orgánico del suelo, el cual se transforma en CO₂ y se libera a la atmósfera (Espinosa *et al.*, 2012).

El arroz tiene una enorme importancia mundial en términos alimentarios, sociales y de emisión de GEI. Por un lado, para cerca de la mitad de la población mundial este cereal es su alimento básico, el cual se produce en aproximadamente 153 millones de hectáreas (11% de la tierra arable mundial; Faostat, 2011); por otro lado, 30% de las emisiones globales de metano y 11% de óxido nitroso provienen de campos de arroz (IPCC, 2007).

Este cultivo ha sido durante años uno de los más rentables y generadores de empleos en el departamento del Huila, especialmente en el municipio de Campoalegre. A causa de los bajos rendimientos que se han presentado en los últimos años y en miras a contrarrestar esta reducción, el agricultor ha optado por aumentar el número de aplicaciones y dosis de insumos como fertilizantes, herbicidas e insecticidas (Acosta-Buitrago, 2011), lo que conlleva al aumento de la emisión de GEI, en especial el óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), de manera no intencional (Segura & Andrade, 2012).

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de estimar la huella de carbono en el cultivo de arroz en el municipio de Campoalegre. Se busca tener datos que permitan ser más eficientes y amigables con el medio ambiente en el manejo de los sistemas de producción. Las demandas mundiales de alimentos, como el arroz, hacen necesario encontrar un balance óptimo entre un incremento en los rendimientos y una reducción en la emisión de GEI.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en sistemas de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila. El área está situada a 22 km de Neiva, entre las coordenadas 2°31' y 2°47' N, y 75°12' y 75°26' O y entre los 600 y 1400 m de altitud (Alcaldía de Campoalegre, 2008). El municipio cuenta con una extensión de 423 km² y se encuentra en la zona de vida de bosque seco tropical con una temperatura media anual de 27 °C y una precipitación entre 500 y 1000 mm al año (Perdomo-Morales, 1996).

Se estimaron todos los insumos y energía empleada en la producción de arroz, desde el establecimiento hasta la cosecha, y que generan GEI. Se realizaron encuestas semiestructuradas a los agricultores dueños de predios, arrendatarios, dueños de la maquinaria, operarios y vendedores de insumos agrícolas. A todos ellos se les formuló una serie de preguntas acerca de los productos utilizados, tal como dosis y número de aplicaciones de fertilizantes y otros agroquímicos, labores realizadas y transporte. Igualmente, se indagó acerca de todas las actividades de manejo del cultivo para así obtener un estimado de la huella de carbono. El estudio consistió de los pasos metodológicos que se describen a continuación.

Selección de unidades de producción

Se seleccionaron aleatoriamente 21 lotes de arroz de la zona rural del municipio de Campoalegre, a menos de 15 km de distancia del pueblo, los cuales tenían riego por gravedad y eran manejados por propietarios y arrendatarios.

Estimación de las emisiones de GEI en el cultivo del arroz

La estimación de las emisiones de GEI en el cultivo de arroz se hizo desde la preparación del suelo hasta la cosecha del grano, lo cual sucedía cuando éste presentaba 20% a 30% de humedad. Entre las actividades efectuadas en el cultivo del arroz que generan emisión de GEI se encuentran: la aplicación de fertilizantes nitrogenados y cal, el uso de combustibles fósiles en labores como aplicaciones, preparación del terreno y transporte (Segura & Andrade, 2012). Estas variables se estimaron en cada lote de arroz mediante encuestas semiestructuradas.

Fertilización nitrogenada

En la encuesta se consultó 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 (2007): 0,01 kg N₂O/kg N. Posteriormente, se multiplicó la emisión de N₂O por 310, es decir, 1 g de N₂O tiene el mismo poder de calentamiento que 310 g de CO₂ (CO₂e), (IPCC, 2007).

Uso de combustibles fósiles

Se preguntó acerca del uso de combustibles fósiles en las actividades de manejo y transporte. Se preguntó acerca de la duración de la labor, tipo y cantidad de combustible utilizado en las labores de manejo del cultivo, tales como la preparación del terreno, la siembra y cosecha. Las aplicaciones de fertilizantes y agroquímicos realizadas con motor fueron consultadas para estimar el uso de combustibles fósiles. Se consideró el tipo de combustible, número de aplicaciones, cantidad de combustible utilizado por hora y duración de la labor (min/ha) en cada lote. En algunos casos, se realizaron labores adicionales durante la preparación del terreno por lo que fueron incluidas para calcular el total del combustible utilizado. En los casos en los que la siembra se realizó manualmente al voleo, esta actividad no fue incluida para la estimación de GEI.

El transporte se clasificó en transporte de operarios desde y hasta el lote de arroz y en el del grano producido hasta el molino. Se indagó acerca del tipo de combustible usado y cantidad por hora (l/h), distancia recorrida (km), número promedio de viajes al lote durante el ciclo y duración del viaje (min). Como esta información fue colectada por lote, se dividió el consumo total de combustibles por el área de cada lote. Posteriormente, se totalizó la cantidad empleada de cada combustible y se empleó un factor de emisión 2,33 y 2,83 kg CO₂e/l para gasolina y diésel, respectivamente, los cuales son recomendados por el IPCC (2007).

Huella de carbono

Luego de obtener los resultados de las emisiones de GEI por cada tipo de actividad, éstas se suman para encontrar las emisiones totales por unidad de área y ciclo de cultivo. Este valor fue dividido por el rendimiento de arroz (t/ha por ciclo) para obtener la huella de carbono por unidad de arroz producido (kg CO₂e/t).

Mitigación de las emisiones de GEI

Se emplearon tasas de fijación de carbono de varios sistemas agrícolas y agroforestales en el departamento del Tolima, Colombia, en los cuales se puedan compensar las emisiones de GEI por la producción de arroz y alcanzar la neutralidad de carbono. Se consideraron las tasas anuales de fijación de carbono de 1,1 tC/ha en cacaoales en monocultivo en Armero-Guayabal (Andrade *et al.*, 2013), de 0,4 y 1,0 tC/ha en cafetales y con árboles en el Líbano (Andrade *et al.*, 2014). Se consideraron dos ciclos de cultivo de arroz por año para las estimaciones.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Se dividieron los productores en dos grupos: propietarios y arrendatarios, y se realizaron comparaciones de medias de Tukey para evaluar diferencias entre éstos. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emisión total y por rubros de GEI

Se encontró que la producción de arroz en Campoalegre, Huila, emite 998,1 ± 365,3 kg CO₂e/ha por ciclo. Estos resultados indican el papel negativo de estos

sistemas de producción en la emisión de GEI y en el recrudescimiento del cambio climático. En contraste con estos sistemas emisores netos de GEI, Segura y Andrade (2012) encontraron huellas de carbono positivas en la cadena de producción de café en Costa Rica (4,0 a 14,4 tCO₂e/ha al año), donde se analizaron cafetales en sistemas agroforestales. Se ha demostrado que los sistemas de producción que involucran leñosas perennes, tal como los árboles maderables, tienen más posibilidades de ser amigables con el ambiente, en términos de huella de carbono. Esto mismo afirman Andrade *et al.* (2014) en el Líbano, Tolima, Colombia, al encontrar una huella de carbono negativa en cafetales en monocultivo en comparación con éstos en sistemas agroforestales con *Cordia alliodora* (-5,7 vs. 14,2 tCO₂e/ha al año, respectivamente).

Igualmente, Umaña (2012) encontró que sistemas agrícolas, tales como cacao-plátano, maíz y caña de azúcar presentan una huella negativa muy similar a la encontrada para arroz en este estudio (0,7 a 1,3 tCO₂e/ha al año). Este mismo autor encontró huellas de carbono positivas para cultivos con componentes leñosos perennes como cacao en monocultivo y con aguacate y aguacate-plátano (5,5 a 19,0 tCO₂e/ha al año). A pesar de estas comparaciones, es difícil un paralelo completo y justo entre estudios, ya que la huella de carbono es altamente dependiente de la definición de los límites del ciclo de vida o la cadena de producción.

Los fertilizantes nitrogenados fueron los que más contribuyeron con la emisión de GEI, generando un 65% del total, en contraste con el uso de combustibles fósiles en maquinaria, transporte y aplicaciones, cuya contribución varió entre 1% y 18% (figura 1). Como se mencionó, la fertilización nitrogenada genera 647,6 ± 19,0 kg CO₂e/ha por ciclo, producto de altas dosis de abonos con este nutriente (170 - 254 kg N/ha por ciclo). La fertilización nitrogenada es causante de la emisión de 106,8 kg CO₂e por cada tonelada de arroz. En contraste, el transporte de operarios y las aplicaciones realizadas emiten solo 25,5 y 1,4 kg CO₂e/t, respectivamente. En Costa Rica, en sistemas agroforestales con café igualmente se encontró que la mayor fuente de GEI en el manejo de las plantaciones es la fertilización nitrogenada (63% - 82%). 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.

Xu *et al.* (2013) manifiestan la necesidad de reducir la fertilización con urea en cinco provincias chinas para bajar considerablemente la huella de carbono del proceso de producción de arroz. Por ejemplo, se ha calculado que en China, el rango óptimo de fertilización nitrogenada, en cuanto a huella de carbono es 150 a 200 kg N/ha (Feng *et al.*, 2013).

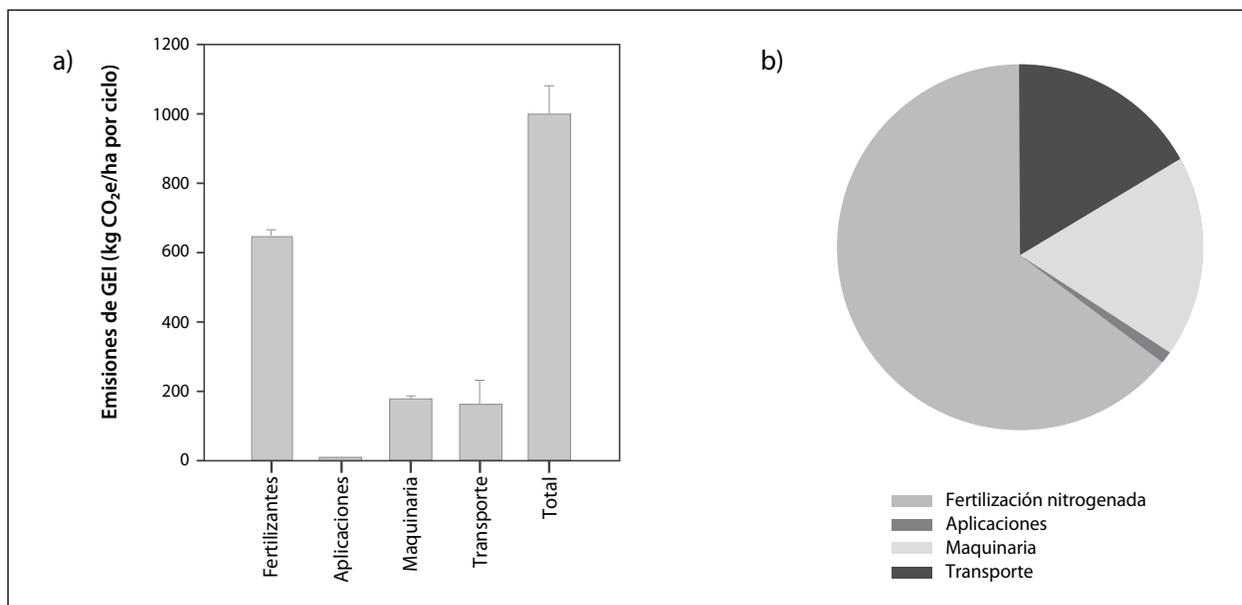


Figura 1. Componentes de la emisión de gases de efecto invernadero (a: valores absolutos; b: valores relativos) en la producción de arroz en Campoalegre, Huila, Colombia. Barras de error corresponden a desviación estándar.

En este estudio, en promedio se aplican 208,9 kg N/ha por ciclo en los sistemas de producción de arroz; siendo la urea la fuente de mayor uso, con una participación del 60% del nitrógeno total aplicado. Cuando este nutriente 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%), (Loeb *et al.*, 1987). También pueden existir pérdidas por erosión y escorrentía, las cuales pueden ser altas si no se tiene un eficiente manejo del riego. La aplicación de grandes cantidades de nitrógeno no siempre da como resultado el aumento del rendimiento; sin embargo, están contribuyendo a la emisión de N₂O, cuyo poder de calentamiento es mucho mayor que el CO₂.

Relación entre la emisión de GEI y el área y la producción de arroz

El rendimiento promedio obtenido en las unidades productivas fue de 6,12 t/ha, oscilando entre 5,0 y 6,9 t/ha (figura 2a). Como se muestra en las figuras 2a y 2b, no se encontró una relación directa y evidente entre las emisiones totales de GEI y la producción ($r = 0,22$; $p = 0,34$), y el área del lote en producción ($r = -0,29$; $p = 0,21$). Sin embargo, se observa una tendencia leve hacia la reducción de las emisiones de GEI causado por un aumento de la producción (figura 2a) y en el área de

los lotes de arroz (figura 2b). Esto implica que la escala de la producción no afecta en gran medida las emisiones de GEI.

Impacto de la tenencia de la tierra en la emisión de GEI en la producción de arroz

No se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la producción de arroz y en las emisiones de GEI de la fertilización nitrogenada y el uso de combustibles fósiles (maquinaria y transporte) entre los dos tipos de tenencia de la tierra (figura 3). Es decir, la huella de carbono en la producción de arroz es igual en lotes manejados por propietarios o por arrendatarios. Sin embargo, los arrendatarios generan una leve menor emisión de CO₂ que los propietarios ($851,8 \pm 22,6$ vs. $1056,6 \pm 111,4$ kg CO₂/ha por ciclo, respectivamente) (figura 3). Tal diferencia, aunque no es estadística, podría deberse a los contrastes en las estructuras de costos, ya que el arriendo del terreno equivale hasta un 17% de los costos totales. Esto hace que los arrendatarios inviertan menos en insumos, como fertilizantes y en labores de cultivo. Otra razón puede ser que, por lo general, los propietarios utilizan como medio de transporte el tractor, el cual consume mayor cantidad de combustible, aumentando las emisiones de GEI. Con base en estos resultados, se deberían fortalecer las estrategias para que la producción de arroz en este municipio sea liderada por los arrendatarios de los predios.

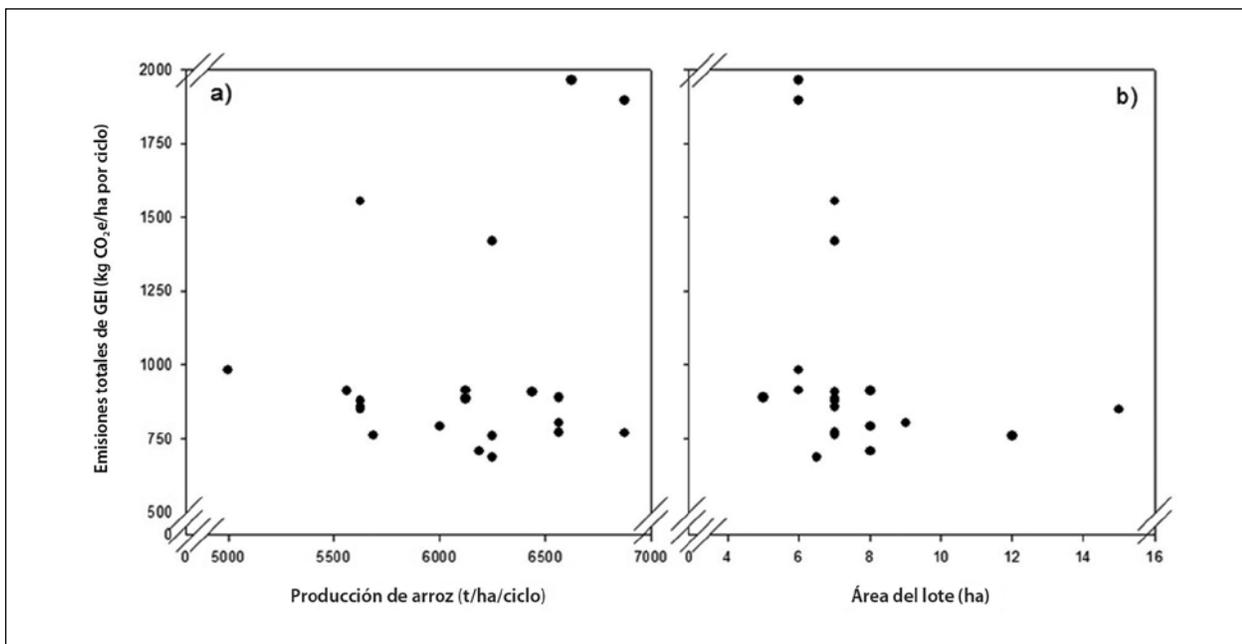


Figura 2. Relación entre las emisiones totales de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de arroz y la producción del cultivo (a) y el área del lote en producción (b) en el Municipio de Campoalegre, Huila, Colombia

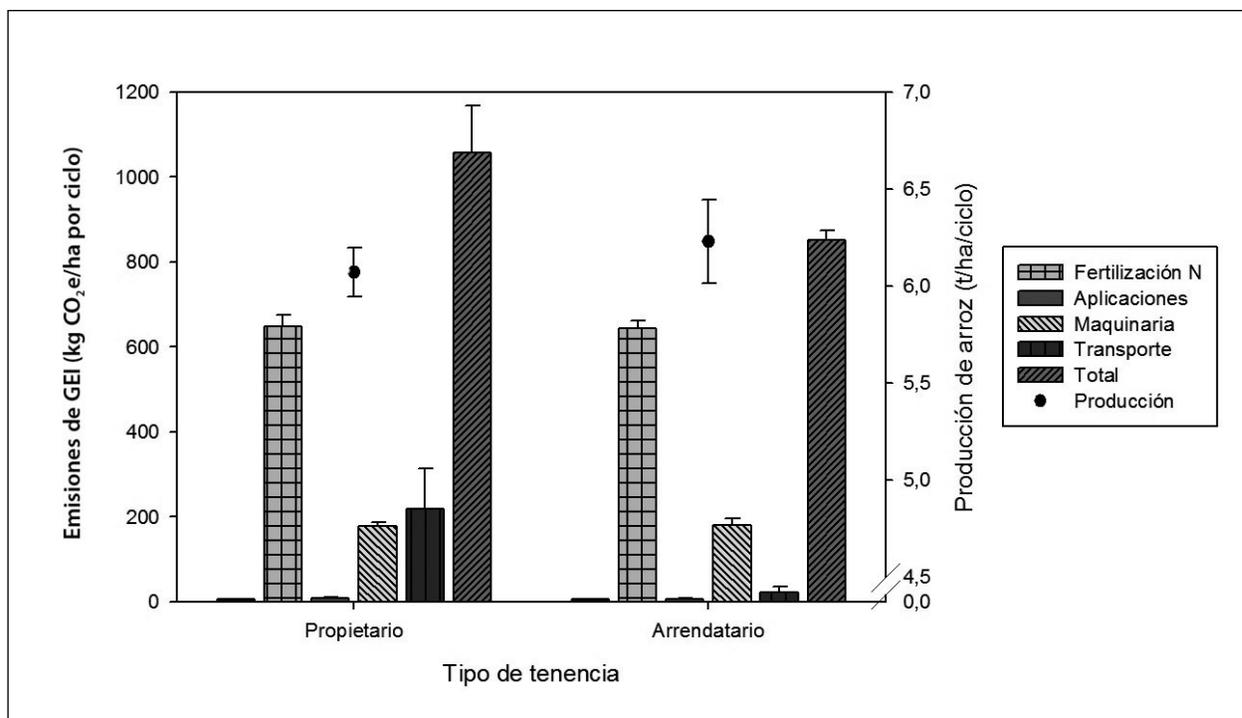


Figura 3. Impacto del tipo de tenencia de la tierra en la producción de arroz y emisiones de gases de efecto invernadero en Campoalegre, Huila. Barras de error corresponden a desviación estándar.

Emisión unitaria de GEI

Al relacionar la emisión total de GEI con el rendimiento obtenido, se encontró que para las condiciones evaluadas, por cada tonelada de arroz producida se emiten en promedio $163,3 \pm 55,8$ kg CO₂e a la atmósfera. Estos resultados son muy bajos comparados con lo reportado por Xu *et al.* (2013) en China, quienes estimaron la huella de carbono en todo el ciclo de vida de la producción de arroz -incluyendo la manufactura de los productos agrícolas y explotación de los insumos para su producción de 1,3 a 2,5 t CO₂e/t; sin embargo, las emisiones de GEI en la producción de arroz en ese estudio tienen el mayor peso.

En Madagascar, se estimó una huella de carbono de 4,8 kg CO₂e/kg de arroz paddy o 7,2 kg CO₂e/kg de arroz (Bockel *et al.*, 2010). En Japón, Yoshikawa *et al.* (2010) estimaron en 1,9 kg CO₂e/kg de arroz la huella de carbono de la producción de este cereal mediante el método del ciclo de vida. En cafetales en monocultivo también se encontró una huella de carbono unitaria negativa, es decir, emisión neta de GEI (22,6 kg CO₂e/kg de café molido), (Andrade *et al.*, 2014). En contraste, en cafetales en sistemas agroforestales se han encontrado huellas de carbono positivas, es decir, fijación neta de carbono de

78,6 kg CO₂e/kg de café molido en Colombia y 13,0 kg CO₂e/kg de grano de café verde en Costa Rica (Andrade *et al.*, 2014; Segura & Andrade, 2012).

Es importante considerar que la cascarilla de arroz tiene una gran importancia como mitigador del cambio climático, al reducir las emisiones de GEI de fuentes convencionales como electricidad o diésel (Mai Thao *et al.*, 2011). Esto podría disminuir el impacto negativo en el ambiente de la producción de arroz.

Estrategias para la mitigación de las emisiones de GEI

Estos sistemas resultaron emisores netos de GEI, los cuales deberían ser compensados para alcanzar la neutralidad en carbono (Segura & Andrade, 2012). Se encontró que para mitigar una emisión neta de 2,0 t CO₂e/ha al año producida en los arrozales estudiados, es necesario el establecimiento y manejo de 0,5 ha de cacaoales sin árboles o de cafetales con árboles, o 1,4 ha de cafetales en monocultivo. Esto permitiría que los arrozales de este municipio sean carbono-neutral. Sin embargo, es importante considerar que estas emisiones pueden ser compensadas en las mismas fincas arroceras al mejorar el manejo y tener sistemas con leñosas perennes como cercas vivas o bosques riparios.

CONCLUSIONES

La huella de carbono para el cultivo de arroz en promedio fue de 163,3 kg CO₂e/t, la cual involucra las actividades de maquinaria, transporte, fertilización y aplicaciones. En esta huella, la principal actividad emisora es la fertilización nitrogenada (65% del total de emisiones). A pesar de ser un cultivo netamente emisor de GEI, los arrozales podrían convertirse en carbono-neutral si sus emisiones se compensan con sistemas de leñosas perennes, como cafetales o cacaoales, o cercas vivas o bosques riparios en las mismas fincas.

Las emisiones de CO₂ y el rendimiento del cultivo no necesariamente están relacionados, si aumenta las primeras no se incrementa el rendimiento o viceversa. Esto es debido a que las emisiones dependen de las actividades de manejo del cultivo.

REFERENCIAS

- Acosta-Buitrago JO. 2011. Evaluación del sistema intensivo de cultivo arrocero (Sica) en el municipio de Purificación, Tolima. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cundinamarca, En: http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/colombia/research/Colombia_tesis_Buitrago_UC_0913211.pdf; consulta: enero 2014.
- Alcaldía de Campoalegre. 2008. Plan de Desarrollo, municipio de Campoalegre (Huila, Colombia) 2008-2011. En: <http://bit.ly/LIDUoG>; consulta: enero 2014.
- Andrade HJ, Figueroa JMP, Silva DP. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaoales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria* 1: 6-10.
- Andrade HJ, Segura MA, Canal DS, Feria M, Alvarado JJ, Marín LM, Pachón D, Gómez MJ. 2014. The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia (Chapter 5). En: Oelbermann M (ed.). *Sustainable agroecosystems in climate change mitigation* pp. 53-66. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. 272 p.
- 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. En: <http://bit.ly/1fah8ZF>; consulta: enero 2014.
- Doménech JL. 2011. La huella de carbono concepto, utilidad y aplicación. En: Fundación Gas Natural -Fenosa-, Barcelona, España. En: <http://bit.ly/1e5Boip>; consulta: enero 2014.
- Espinosa EL, Andrade HJ, Moreno H. 2012. Impacto del pastoreo en el carbono orgánico de suelos en el Páramo de Anaime, Tolima. XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Riohacha, Colombia, 2-5 de octubre de 2012.
- Faostat. 2011. Estadísticas Agrícolas. En: <http://faostat.fao.org>; consulta: octubre 2013.

Las emisiones generadas por agricultores arrendatarios y agricultores propietarios son prácticamente iguales. La única diferencia radica en la distancia del predio a la cabecera municipal, la cantidad de combustible empleado y el tipo de transporte que utilizan.

Se recomienda estimar la huella de carbono para los procesos industriales del arroz paddy y luego repetirlos en otras regiones del país. Estos estudios deberían enfocarse en los métodos de ciclo de vida del producto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a todos los productores arroceros de Campoalegre que participaron activamente en este estudio. Al Curso Internacional “Herramientas para el Monitoreo del Secuestro de Carbono en Sistemas de Uso de la Tierra”, desarrollado entre la Universidad del Tolima y el CATIE.

- Feng J, Chen C, Zhang Y, Song Z, Deng A, Zheng C, Zhang W. 2013. Impacts of cropping practices on yield-scaled greenhouse gas emissions from rice fields in China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 220-228.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge-UK and NY-USA, Cambridge University Press, 996 pp. En: <http://bit.ly/1d7QaiO>; consulta: enero 2014.
- Loeb A, Bonilla CR, Gallardo CA, 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.
- Mai Thao PT, Kurisu KH, Hanaki K. 2011. Greenhouse gas emission mitigation potential of rice husks for An Giang province, Vietnam. *Biomass and Bioenergy* 35(8): 3656-3666.
- Perdomo-Morales JA. 1996. Adaptabilidad de cuatro formas de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la cuenca de la quebrada Río Frío, Campoalegre, Huila. (tesis de grado), Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 108 p.
- Segura MA, Andrade HJ. 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.
- Umaña JA. 2012. Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima. Tesis de maestría, Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá, Colombia. 56 p.
- Valderrama JO, Espíndola C, Quezada R. 2011. Huella de carbono, un concepto que no puede estar ausente en cursos de ingeniería y ciencias. *Formación Universitaria* 4(3): 3-12.
- Xu X, Zhang B, Liu Y, Xue Y, Di B. 2013. Carbon footprints of rice production in five typical rice districts in China. *Acta Ecologica Sinica* 33(4): 227-232.
- 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. En: <http://www.ritsumeai.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2010lcafood-yoshikawanaoki.pdf>; consulta: enero 2014.