







Contribución de la cobertura arbórea a la compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero de fincas productoras de leche en el sur oriente de Guatemala

Cristobal Villanueva¹   Carlos Moscoso 

Guillermo Detlefsen   Jennifer Solis   Julio López  

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Resumen. La ganadería es una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), pero tiene el potencial de compensar estas emisiones a través de la cubierta arbórea en las fincas y también con la aplicación de buenas prácticas agrícolas. El objetivo de este estudio fue identificar las principales fuentes de emisión de GEI y determinar el balance de carbono en fincas lecheras con diferentes niveles de innovación tecnológica en la región sureste de Guatemala. Se seleccionaron 30 fincas con diferentes niveles de innovación tecnológica, donde se recopiló información biofísica y socioeconómica para estimar las emisiones de GEI, utilizando los criterios del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). El secuestro de carbono se estimó mediante el monitoreo de parcelas temporales en diferentes usos de suelo. La principal fuente de emisiones en las fincas fue la fermentación entérica, seguida de la fertilización, el combustible, el estiércol y la electricidad. En las fincas con baja innovación, la emisión por fermentación entérica fue la mayor fuente de GEI ($p = 0.05$). En las fincas con alta innovación, la fertilización nitrogenada fue la mayor fuente de GEI ($p = 0.05$). La intensidad de las emisiones por unidad de leche producida fue similar entre los grupos de fincas ($p > 0.05$); mientras que, por unidad de carne, las fincas con baja innovación presentaron un menor valor ($p < 0.05$). Asimismo, el 53 % de las fincas tuvieron balance de carbono positivo con una importante contribución a la compensación de bosques y árboles dispersos en potreros. En las granjas lecheras, la principal fuente de emisión de GEI fue la fermentación entérica. Además, las fincas con mejor manejo de la cobertura arbórea (bosques y sistemas silvopastoriles) tuvieron un balance de carbono positivo.

Palabras clave: balance de carbono, fermentación entérica, fertilización nitrogenada, sistemas silvopastoriles

Contribution of tree cover to the compensation of greenhouse gas emissions from dairy farms in the southeast of Guatemala.

Abstract. Livestock is a source of greenhouse gas (GHG) emissions, but it has the potential to offset these emissions through tree cover on farms and also through the application of good agricultural practices. The objective of this study was to identify the main sources of GHG emissions and determine the carbon balance in dairy farms in the south-eastern region of Guatemala, where 30 farms with different levels of technological innovation were selected and where biophysical and socioeconomic information was collected to estimate GHG emissions using IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) criteria. Carbon sequestration was estimated through the monitoring of temporary plots in different land uses. The data were analysed using descriptive statistics and with a T-test for the comparison of high and low innovation systems. The main source of emission on the farms was enteric fermentation, followed by fertilization, fuels, manure and electric energy. In the farms with low innovation, the emission by enteric fermentation was the major source of GHG ($p = 0.05$). In those with high innovation nitrogen fertilization was the greatest source of GHG ($p = 0.05$). The emission intensity per unit of milk produced was similar ($p > 0.05$) between the groups of farms, while per unit of meat was lower ($p < 0.05$) in farms with low innovation. In both cases, this was explained by higher productivity. Likewise, 53 % of the farms had a positive carbon balance with an important contribution in the compensation of forests and scattered trees in paddocks. On dairy farms, the main source of emission was enteric fermentation. In addition, those with better management of tree cover (forests and silvopastoral systems) had a positive carbon balance.

Keywords: carbon balance, enteric fermentation, nitrogen fertilization, silvopastoral systems.

Recibido: agosto 20, 2022. Aceptado: marzo 03, 2023

¹ Autor para correspondencia: cvillanu@catie.ac.cr

Contribuição da cobertura florestal para a compensação das emissões de gases de efeito estufa de fazendas leiteiras no sudeste da Guatemala

Resumo. A pecuária constitui uma fonte de emissões de GEE, mas tem potencial para compensar essas emissões por meio da cobertura arbórea nas fazendas e também com as boas práticas agropecuárias aplicadas. O objetivo deste estudo foi identificar as principais fontes de emissões de GEE e determinar o balanço de carbono em fazendas produtoras de leite na região sudeste da Guatemala, onde foram selecionadas 30 fazendas com diferentes níveis de inovação tecnológica e onde informações biofísicas e socioeconômicas foram coletadas para estimar as emissões de GEE usando as equações do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). O sequestro de carbono foi estimado através do monitoramento de parcelas temporárias em diferentes usos da terra. A principal fonte de emissão nas fazendas foi a fermentação entérica, seguida da adubação, combustíveis, esterco e energia elétrica. Nas fazendas com baixa inovação, a emissão por fermentação entérica foi maior ($p = 0.05$) e naquelas com alta inovação foi a adubação nitrogenada ($p = 0.05$). A intensidade das emissões por unidade de leite produzida foi semelhante no grupo de fazendas ($p > 0.05$), enquanto por unidade de carne, as fazendas com baixa inovação apresentaram menor valor ($p < 0.05$). Em ambos os casos, isso foi explicado pela maior produtividade. Da mesma forma, 53 % das fazendas apresentaram balanço de carbono positivo com importante contribuição na compensação de florestas e árvores dispersas em piquetes. Nas fazendas leiteiras, a principal fonte de emissão foi a fermentação entérica. Além disso, aqueles com melhor manejo da cobertura arbórea (florestas e sistemas silvipastoris) apresentaram balanço de carbono positivo.

Palavras-chave: balanço de carbono, fermentação entérica, adubação nitrogenada, sistemas silvipastoris.

Introducción

En Guatemala, la ganadería bovina alcanza una población de 4.083.700 cabezas y ocupa un área de 4.800.000 ha (FAO, 2019). Esta actividad tiene una contribución del 8 % en el producto interno bruto agropecuario (MAGA, 2018). Además, prevalecen los sistemas de producción tradicionales que presentan bajos indicadores de producción e ingresos y una serie de externalidades negativas para el ambiente relacionadas con deforestación, degradación de suelos, contaminación de fuentes de agua, reducción de la biodiversidad y mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Acosta y Díaz 2014). La actividad ganadera contribuye con el 14,5 % de las emisiones globales de GEI, considerando todas las emisiones a lo largo de la cadena productiva (Herrero *et al.*, 2011). Las emisiones de GEI en los sistemas ganaderos se deben principalmente a las fuentes siguientes: i) emisiones de metano (CH_4) procedentes de la fermentación entérica; ii) emisiones de CH_4 y óxido nitroso (N_2O) procedentes del manejo del estiércol; iii) emisiones de N_2O de fertilizantes nitrogenados sintéticos; iv) emisiones de dióxido de carbono (CO_2) procedentes de la utilización de combustibles fósiles debido al uso de maquinaria y equipo agrícola en la finca; y v) emisiones de CO_2 procedentes de los cambios en los usos de la tierra (Gerber *et al.*, 2013).

En Guatemala las emisiones de GEI alcanzan 63 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), de las cuales el 6 % corresponden a

las emisiones por la actividad ganadera (MARN, 2021). En las fincas ganaderas de distintos sistemas de producción, la principal fuente de emisión de GEI es el CH_4 entérico que varía entre 69 y 82 % del total de emisiones (Vega, 2016; Wattiaux *et al.*, 2016; Sánchez Ledezma, 2018). El CH_4 entérico representa una ineficiencia en el uso de la energía. En general se estima una pérdida de energía bruta que varía entre 2-12 % (Johnson y Johnson, 1995). Una buena gestión de las pasturas y del componente arbóreo (en usos ganaderos y bosques) constituye una opción importante de captura de carbono para compensar las emisiones de GEI y convertir a las fincas ganaderas con un balance de carbono positivo. Es decir, captura de carbono mayor que las emisiones (Sánchez Ledezma, 2018). Las fincas que presentan un balance de carbono positivo son aquellas que cuentan con pasturas mejoradas o naturales con árboles dispersos, cercas vivas y que al menos el 25 % del área de la finca sea bosque (MAG y CATIE, 2010). Las fincas con balance de carbono negativo tienen la oportunidad de mejorar dicho indicador a través de la implementación de prácticas como el aumento de la cobertura de árboles por medio sistemas silvopastoriles y bosques, reduciendo las emisiones de GEI por medio de la intensificación productiva que promueve la disminución del tamaño del hato. Esto implicaría una mejor gestión de la calidad de los alimentos, mejoramiento genético y selección de animales con mayor producción (O'Brien *et al.*, 2015).

La mayoría de las publicaciones están enfocadas en presentar las emisiones de GEI de las fincas ganaderas (Vega *et al.*, 2016; Iñamagua *et al.*, 2016; González *et al.*, 2020; Naranjo *et al.*, 2020). Sin embargo, es importante realizar estudios de balance de carbono para mostrar que la ganadería, aparte de lograr una mayor productividad de leche y carne, tiene potencial para compensar las emisiones de GEI por medio de la cobertura arbórea presente en la finca. Asimismo, las fincas ganaderas presentan diferentes niveles de

innovación tecnológica según la gestión de los componentes como el suelo, los pastos y forrajes (sistema de pastoreo), el ganado, la suplementación, los sistemas silvopastoriles, el estiércol, las fuentes de agua y de los sistemas de registros (Solís *et al.* 2019). En este sentido, el objetivo del presente estudio fue identificar las principales fuentes de emisión de GEI y en determinar el balance de carbono en fincas productoras de leche con diferentes niveles de innovación tecnológica en la región sur oriente de Guatemala.

Materiales y Métodos

Local de estudio

El estudio se llevó a cabo en la zona piloto del Proyecto “Sistemas de Producción Climáticamente Inteligente basados en Sistemas Silvopastoriles”, en el sur oriente de Guatemala que es parte del corredor seco centroamericano (CSC). Geográficamente incluye los departamentos de Jalapa, Jutiapa y Santa Rosa. Su topografía es montañosa y quebrada con alturas que varían desde los 450 a 2.000 msnm, con temperaturas comprendidas entre los 16 y 26 oC. La precipitación pluvial anual varía de 600 a 1.300 mm (INSIVUMEH, 2020).

Selección de las fincas

Inicialmente, se seleccionaron 60 fincas con base a los siguientes criterios: 1) tener como principal actividad económica la ganadería; 2) finca familiar; 3) existencia de cobertura forestal en forma de árboles dispersos u otro arreglo de árboles en la finca; 4) la propiedad no estaba en venta; 5) la familia tenía planes a largo plazo para la actividad ganadera; y 6) buenas prácticas de manejo de la finca como sistema de pastoreo rotacional, uso de banco forrajeros, gestión del estiércol, otras (Solís *et al.*, 2019).

De la muestra de 60 fincas, se realizó una selección final de 30 de ellas con base a los siguientes criterios de innovación tecnológica de acuerdo a Solís *et al.* (2019): 1) existencia de bancos forrajeros de leñosas; 2) bancos forrajeros de gramíneas; 3) cercas vivas; 4) árboles dispersos en potreros; 5) árboles en linderos; 6) plantaciones en bloque; 7) bosques secundarios; 8) pasto mejorado; 9) sistema de pastoreo; 10) complementación con insumos externos; 11) suplementación mineral; 12) manejo de excretas; 13) disponibilidad de fuentes de agua; 14) higiene del ordeño; 15) plan profiláctico; y 16) uso de registros de finca. Con estos criterios se clasificaron las fincas según su nivel de innovación.

Monitoreo biofísico y socioeconómico de las fincas

Se recolectó la información en las fincas seleccionadas por medio de una encuesta semiestructurada. Se registró información sobre la familia propietaria, usos del suelo, manejo de las pasturas, fertilizantes usados en las pasturas, herbicidas usados en pasturas, estructura del hato, producción de leche y carne (categorías de animales vendidos), suplementación alimenticia de las distintas categorías del ganado, productos agro veterinarios utilizados, gestión del estiércol y combustibles derivados del petróleo (gasolina o diésel) utilizados en la maquinaria, equipo y vehículos de la finca. La información recolectada fue para un año completo.

Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero

Se estimaron las emisiones de GEI en las fincas del presente estudio utilizando los niveles 1 y 2 con los alcances siguientes:

- **Nivel 1**, para las emisiones de CH₄ provenientes de las excretas de las diferentes categorías de animales y las emisiones de N₂O a partir de los fertilizantes nitrogenados. Además, el CO₂ por el consumo de leña, combustibles fósiles y energía eléctrica para las actividades de la finca.

- **Nivel 2**, para las emisiones de CH₄ por la fermentación entérica y también se aplicó para las emisiones de N₂O en la gestión del estiércol de las diferentes categorías de animales (IPCC 2006).

Para estimar las emisiones GEI de las 30 fincas seleccionadas, se utilizó la calculadora desarrollada por el Proyecto del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO; Vega, 2016). La información requerida se obtuvo por medio de la encuesta semiestructurada biofísica y socioeconómica ya mencionada anteriormente. Las fórmulas que se utilizaron en la calculadora para estimar las emisiones

de CH₄ entérico, CH₄ por la gestión del estiércol, N₂O por la gestión del estiércol, N₂O por la aplicación de fertilizantes nitrogenados y CO₂ por el uso de leña, combustibles fósiles y energía eléctrica fueron las indicadas en el capítulo 10 del IPCC (2006). Los resultados de los diferentes GEI fueron estandarizados en CO_{2e} según el potencial de calentamiento global de cada uno de ellos para un horizonte de 100 años (21 para el CH₄ y 310 para el N₂O; IPCC, 2006). Finalmente se hizo una sumatoria de cada una de las emisiones de GEI para conocer el total de emisiones por año por finca. Así mismo, para cada finca piloto se calculó la intensidad de emisiones de GEI (kg CO_{2e}/unidad de producto sea leche o carne) a fin de comparar las diferentes condiciones de manejo de las fincas y conocer el impacto en la implementación de tecnologías o buenas prácticas ganaderas.

Estimación del secuestro de carbono

Para estimar el secuestro de carbono por cada finca en estudio, se definieron los diferentes usos de suelo con cobertura forestal (cercas vivas, árboles dispersos, bosques secundarios, bosques riparios, plantaciones forestales o cualquier otra forma de manejo del componente arbóreo) y el área ocupada por cada uso. Con estos datos, se aplicó una intensidad de muestreo entre el 1-5 % de acuerdo con el área para cada uso y así determinar el número de parcelas temporales de medición forestal. Con la información recolectada se aplicaron las ecuaciones alométricas disponibles para las diferentes especies encontradas en campo y se determinó la biomasa total por individuo (Tabla 1), para luego extrapolar a la parcela temporal de medición al uso de suelo y finalmente obtener la biomasa total de la finca. Los datos de biomasa se multiplicaron por el factor 0,50 y se obtuvo el total de carbono por individuo y carbono total de la finca.

Tabla 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para determinar biomasa (kg MS) de los árboles de las fincas ganaderas en estudio de la región sur oriente de Guatemala.

Especies	Ecuación alométrica	Fuente
Coníferas	$B = \exp(-1,17 + 2,119 * (\ln \text{dap}))$	FAO (2004)
Quercus spp	$B = \exp(-2,4609 + 2,3328 * \ln \text{dap} + 0,3407 * \ln \text{Ht})$	González (2008)
Tabebuia donnel smithii	$B = \exp(1,469255 + 0,0009 * \text{dap} + 0,470835 * \text{Ht} - 0,013751 * \text{Ht}^2 + 0,000676 * \text{dap}^2)$	Lee (2002)
Eucaliptus spp	$B = 0,0334 (\text{dap})^2,876$	Montepeque (2007)
Otras latifoliadas	$B = 42,19 - 12,80 (\text{dap}) + 1,242 (\text{dap})^2$	FAO (2004)

En donde: B= Biomasa (kg MS); Ln= logaritmo natural; dap= diámetro a la altura del pecho (m); Ht= altura total (m).

Con los incrementos promedios anuales de cada especie (IMA) y el diámetro a la altura de pecho (dap) se estimó la edad de cada individuo para tener una aproximación del carbono secuestrado por año por individuo. De igual manera, esta información se extrapoló para determinar el carbono secuestrado por año por cada una de las fincas en estudio.

El carbono obtenido por finca se convirtió en CO_{2e} multiplicando el carbono total por el factor 44/12 (IPCC, 2003).

Balance de carbono

El balance de carbono es la diferencia entre el total de la captura o remoción de carbono y el total de emisiones de GEI expresados en CO_{2e} en un período de tiempo determinado (para efectos del presente estudio, el balance de carbono se estimó para un año). Cuando las remociones de carbono fueron menores que las

emisiones de GEI, la finca mostró un balance de carbono “negativo”. En los casos donde no hubo diferencia entre las remociones con las emisiones, la finca fue considerada con balance de carbono “neutro”. Cuando las remociones fueron mayores que las emisiones, la finca presentó un balance de carbono “positivo”.

Análisis estadístico

Las variables sobre fuentes de emisión de GEI, intensidad de emisiones y balance de carbono fueron analizadas mediante estadísticas descriptivas. También, se les aplicó una prueba de T no pareada para conocer el comportamiento en las fincas de alta y baja innovación, en donde se utilizó un nivel de significancia $p \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados por medio del programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2019).

Resultados y Discusión

Emisiones de GEI en las fincas productoras de leche

En las fincas estudiadas la principal fuente de emisión de GEI fue la fermentación entérica con el 81 %. Las otras fuentes suman el 19 % en el orden siguiente: fertilizantes nitrogenados, combustibles fósiles, manejo del estiércol y energía eléctrica (Figura 1). Los resultados encontrados son similares a los reportados por Vega (2016) y Sánchez Ledezma (2018), quienes reportaron que las emisiones de CH₄ entérico representan el 81 % de las emisiones totales en fincas productoras de leche.

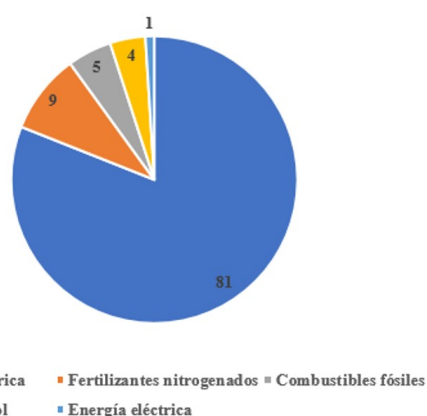


Figura 1. Principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (%) en fincas ganaderas de la región sur oriente de Guatemala

La mayor emisión de CH₄ entérico tiene relación con la cantidad de animales que manejan las fincas y que deriva un consumo importante de materia seca. En general, los estudios realizados por Muñoz *et al.* (2015), Montenegro *et al.* (2020) y Villanueva (2022) encontraron que una mayor producción de leche está asociada a un

mayor consumo de materia seca y de emisiones de CH₄ entérico. En tal sentido, Manzanilla-Pech *et al.* (2020) destacan que una mayor eficiencia en la conversión alimenticia podría ser una opción para reducir las emisiones de este gas. El ajuste de la estructura del hato puede contribuir con una mayor eficiencia económica de la finca y una menor emisión de CH₄ a nivel de finca y por unidad de producto (Hristov *et al.*, 2013). Esta opción incluso podría dar lugar a la reducción del tamaño del hato o responder a la demanda creciente del mercado sin el crecimiento del hato.

En los grupos de alta y baja innovación de tecnología la principal fuente de emisión de GEI fue la fermentación entérica y posteriormente la fertilización nitrogenada. De hecho, ambas fuentes presentaron diferencia significativa ($p = 0.05$). Las fincas con baja innovación presentaron la fermentación entérica como principal fuente de emisión de GEI y las de alta innovación la fertilización nitrogenada (Tabla 2). La tendencia de estos resultados es similar a lo reportado por Vega (2016) y Wattiaux *et al.* (2016) quienes encontraron que las fincas con bajo nivel de innovación tecnológica tuvieron emisiones asociadas a la fermentación entérica mayores al 80 %. Esto fue relacionado con la baja calidad de la dieta y la mayor cantidad de ganado. Por otro lado, Villanueva (2022) encontró que las emisiones a partir de la fertilización nitrogenada fueron mayores en fincas con alta innovación con emisiones que variaron entre 1,65 y 1,97 %. Estos sistemas utilizan altas dosis de nitrógeno para incrementar la productividad de las pasturas y es parte del manejo de los sistemas de pastoreo rotacional intensivo.

Tabla 2. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (%) en fincas productoras de leche según el nivel de innovación en la región sur oriente de Guatemala.

Fuente de emisión	Alta innovación	Baja innovación	P
Fermentación entérica	78,72±2,01	84,28±1,83	0,05
Fertilización nitrogenada	11,37±2,24	5,56±1,48	0,05
Combustibles fósiles	4,56±0,98	5,50±1,19	0,54
Estiércol	3,92±0,39	4,06±0,53	0,83
Energía eléctrica	1,43±0,55	0,61±0,26	0,18

La intensidad de emisiones de carbono en leche no mostró diferencia significativa ($p > 0,05$), pero si hubo para carne ($p < 0,05$). En leche fue de 2,18 y 2,75 y para carne de 12,88 y 8,35 kg CO_{2e}/kg de producto para fincas con alta y baja innovación respectivamente (Figura 2). Las menores intensidades de emisiones están relacionadas con una mayor productividad animal por finca. Las fincas con mayor innovación

corresponden a un sistema de lechería especializada, tienen ganado con predominio de razas lecheras (Jersey, Holstein y Brown Swiss), uso de forrajes y alta suplementación de concentrados comerciales. Mientras, que la fincas con bajo nivel de innovación en su mayoría tienen un sistema doble propósito, ganado con cruce de razas lecheras (Jersey, Holstein y Brown Swiss) y razas cebuinas (principalmente Brahman y

Gyr), la alimentación está basada en pastos y forrajes y la venta de los terneros al destete (menor a 12 meses de edad).

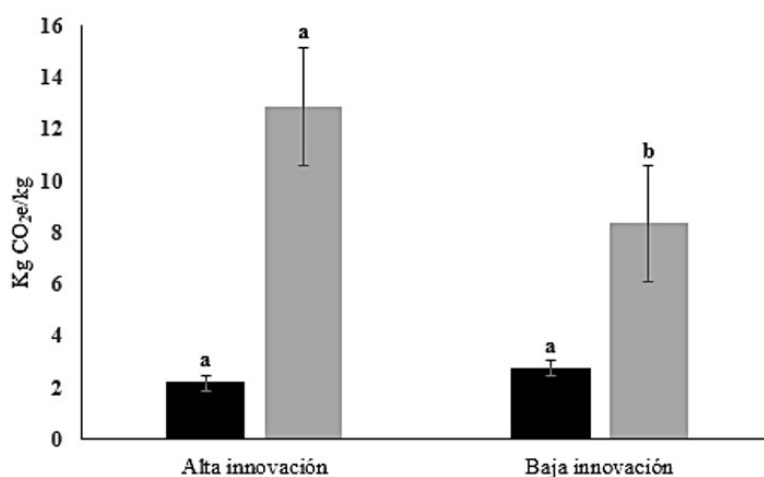


Figura 2. Intensidad de emisiones (kg CO_{2e}/kg de producto) para la carne (barras grises) y la leche (barras negras) producida en las fincas ganaderas con innovación alta y baja. Medias con diferente letra difieren al nivel $p < 0,05$.

En el presente estudio, las fincas con alta innovación presentaron una intensidad de emisiones para leche similar a la reportada por Villanueva (2022) para fincas de lechería especializada de Costa Rica (2,01 vs 2,3 kg CO_{2e}/kg de leche). Mientras, la intensidad de emisiones para carne fue mayor a la reportada por el estudio de Villanueva (2022; 12,9 vs 11,1 kg CO_{2e}/kg PV). En las fincas con baja innovación, la intensidad de emisiones para leche se encontró dentro del rango de la reportada por González *et al.* (2020) para sistemas doble propósito de Colombia (2,1 y 4,2 kg CO_{2e}/kg de leche). Con respecto a la intensidad de emisiones para carne, esta fue menor que la reportada por González *et al.* (2020) y Vega (2016), quienes encontraron valores que variaron entre 9 y 44 kg CO_{2e}/kg PV. Gerber *et al.* (2013) explica que conforme aumenta la productividad de leche o carne, a causa de una mayor innovación tec-

nológica, tiende a reducirse la intensidad de emisiones por producto.

Secuestro de carbono en las fincas ganaderas

Los principales usos del suelo en las fincas ganaderas tuvieron una fijación de carbono de 8,07, 14,68, 20,55 y 22,39 tCO_{2e}/ha/año para árboles dispersos en potreros, cercas vivas, plantaciones forestales y bosques secundarios, respectivamente. A nivel de finca el mayor aporte del secuestro de carbono procede de los bosques secundarios y de los árboles dispersos. En las fincas de alta innovación correspondió al 48 y 26 % respectivamente, mientras que en las de baja innovación fue 51 y 30%, respectivamente (Figura 3). En promedio el secuestro de carbono por finca fue de 122,96±25,28 y 69,03±10,38 tCO_{2e} para las de alta y baja innovación, respectivamente.

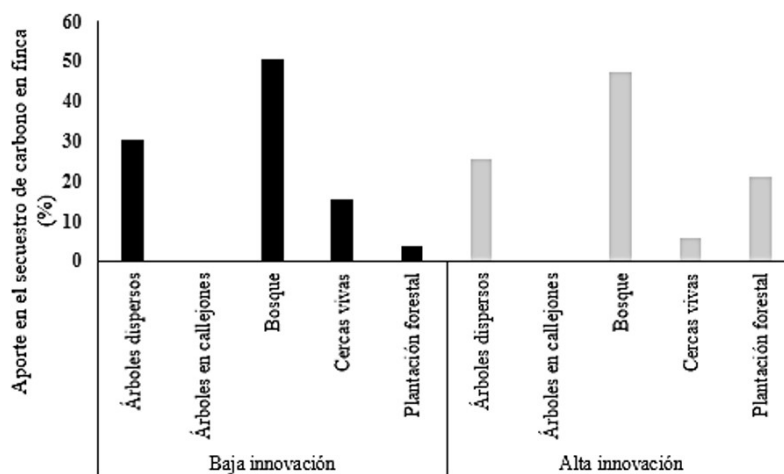


Figura 3. Contribución de los distintos usos del suelo en el secuestro de carbono en fincas productoras de leche del sur oriente de Guatemala.

Balance de carbono

El 53 % de las fincas mostró un balance de carbono positivo (remociones mayores que las emisiones) y un 47% con balance de carbono negativo (remociones menores que las emisiones). En las fincas con balance de carbono positivo, los valores variaron entre 0,73 y 273,05 tCO_{2e}/finca/año. Por otro lado, en el grupo de fincas de alta innovación hubo más con balance de carbono positivo en comparación a las de baja

innovación (59 vs 46% de fincas; Figura 4). Esto indica que estas fincas tenían una cobertura arbórea importante para compensar las emisiones de GEI, tales como sistemas silvopastoriles (árboles dispersos en potreros y cercas vivas), bosques secundarios y plantaciones forestales. De hecho, la mayor contribución para la compensación procede de los bosques secundarios y de los árboles dispersos en potreros (Figura 3).

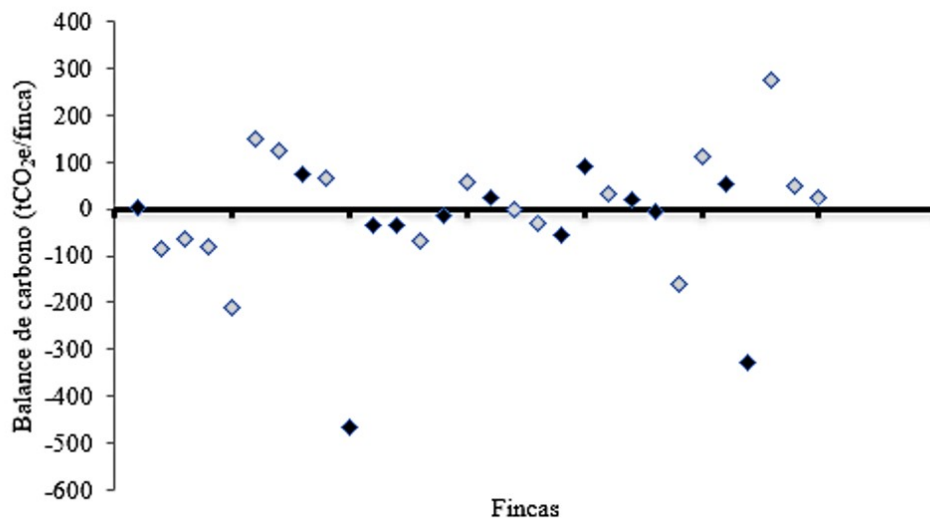


Figura 4. Balance de carbono de las fincas productoras de leche de alta (puntos grises) o de baja innovación (puntos negros). El valor negativo significa que las emisiones son mayores que las remociones de carbono.

En la región latinoamericana se han realizado pocos estudios sobre el balance de carbono en fincas ganaderas como los reportados por Cárdenas (2014), Rodríguez (2017) y Tobar *et al.* (2018). Ellos encontraron que más del 80 % de las fincas evaluadas presentaron un balance de carbono positivo que varió entre 9 y 1000 tCO_{2e}/finca/año. Los autores señalaron que la presencia de bosques secundarios y sistemas silvopastoriles (árboles dispersos y cercas vivas) tuvieron una contribución importante en la compensación de las emisiones de GEI. Además, Rodríguez (2017) encontró una relación positiva ($R^2 = 0,80$) entre área de finca y balance de carbono positivo, reflejando las ventajas de las fincas con mayor extensión de terreno.

Sin embargo, el reto del sector ganadero es la innovación continua para lograr una intensificación sostenible que le permita una mayor productividad, competitividad y paralelamente reducir sus emisiones de GEI. Esto implicaría producir igual o más con

menos área y cantidad de ganado; también, favorecer el incremento de la cobertura arbórea y la gestión del suelo con pastos para el incremento de la captura de carbono que compense las emisiones de la actividad.

En el sector ganadería, Brasil es el pionero mundial en lanzar al mercado carne carbono neutro. Para lograr dicha meta las fincas ganaderas establecen sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles, en donde las especies predominantes son el pasto *Urochloa brizantha* y la especie maderable eucalipto (*Eucalyptus* spp; Villa Alves *et al.*, 2015). Actualmente otros países como Australia y Nueva Zelanda han lanzado un plan para lograr productos ganaderos carbono neutro en el 2030 y 2050, respectivamente. En ambos casos la estrategia principal es la gestión de la cobertura arbórea para compensar las emisiones de GEI (Case y Ryan 2020; MLA, 2020). En estos países están reconociendo la importancia del carbono como parte de la estrategia de comercialización en el marco de la producción de alimentos cultivados de manera sostenible.

Conclusiones

La fermentación entérica es la principal fuente de emisión de GEI (mayor al 80 %) en las fincas productoras de leche en el sur oriente de Guatemala. De hecho, existe una tendencia a que la emisión sea

mayor en fincas con menor nivel de innovación, lo cual tiene relación con la baja calidad de la dieta y mayor cantidad de unidades animales. Es importante evaluar opciones para reducir las emisiones de CH₄ entérico, lo

cual tendría efecto en las emisiones totales de las fincas y en la intensidad de emisiones de leche y carne.

La intensidad de emisiones para la producción de leche fue similar entre los grupos de fincas, mientras que para la producción de carne fue menor para el grupo de fincas con baja innovación tecnológica. Una mayor productividad animal tenderá a disminuir la intensidad de emisiones por unidad de producto. El

53 % de las fincas presentó un balance de carbono positivo (remociones mayores que las emisiones) con una contribución importante en las compensaciones de los bosques secundarios y sistemas silvopastoriles (árboles dispersos en potreros y cercas vivas). En el corto plazo esta imagen positiva para el ambiente podría favorecer que estas fincas logren mejores nichos de mercado para sus productos.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses que impida su realización.

Aprobación del Comité de Experimentación Animal: NA.

Contribuciones de los autores: **Cristóbal Villanueva:** Gestión de recursos, Conceptualización, Metodología, Análisis de datos, Escritura del manuscrito y revisión. **Carlos Moscoso:** Metodología, Organización de los datos, Escritura del manuscrito y revisión. **Guillermo Detlefsen:** Gestión de recursos, Metodología, Escritura del manuscrito y revisión. **Jennifer Solís:** Metodología, Análisis de datos, Escritura del manuscrito y revisión. **Julio López Payés:** Gestión de recursos, Administración del proyecto, Escritura del manuscrito y revisión.

Agradecimientos

A los productores ganaderos de la región sur oriente de Guatemala por la información brindada y permitir el establecimiento y monitoreo de parcelas temporales en los usos del suelo en las fincas. También a las sedes departamentales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y las Unidades Gestión Ambiental (UGAM) de las municipalidades en la identificación de las fincas en los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. Al PNUD en Guatemala en el marco del Proyecto Manejo Sostenible de los Bosques y Múltiples Beneficios Ambientales Globales en Guatemala implementado por el PNUD. Al Proyecto de Desarrollo con Bajas Emisiones para Guatemala de USAID.

Financiación

Este trabajo fue apoyado en el marco del Acuerdo de Subsidio No. 0086515-2017-001 entre el PNUD y el CATIE como parte de las acciones del Proyecto Manejo Sostenible de los Bosques y Múltiples Beneficios Ambientales Globales en Guatemala implementado por el PNUD con una donación financiera del GEF, para la implementación del Proyecto Sistemas de producción climáticamente inteligentes basados en sistemas silvopastoriles en 15 municipios del sur oriente de Guatemala. También, se contó con apoyo financiero complementario del proyecto Desarrollo con Bajas Emisiones para Guatemala de USAID.

Editado por Aline Freitas de Melo y Omar E. Araujo-Febres

Literatura Citada

Acosta, A. y A. Valdés. 2014. Situación y perspectiva del sector ganadero en Centroamérica. In Acosta, A; Díaz, T (eds.). Lineamientos de política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. Roma, Italia, FAO. p. 3-22.

Cárdenas, J.M. 2014. Balance de gases de efecto invernadero y efectividad del pago por servicios ambientales en fincas ganaderas, península de Nicoya, Costa Rica (en línea). Tesis M.Sc. Turrialba. CR; Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). 76 p. Consultado 24 ago. 2016. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A10815e/A10815e.pdf>

Case, B. and C. Ryan. 2020. An analysis of carbon stocks and net carbon position for New Zealand sheep and beef farmland. Department of Applied Ecology, School of Science, Auckland University of Technology. 29 p. https://beeflambnz.com/sites/default/files/news-docs/BL_Carbon_report_for_review_final_submit.pdf

Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>



- Eckard, R. J., C. Grainger and C. A. de Klein. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130:47-56. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2004. Inventario forestal nacional 2002-03. Guatemala, GT. (en línea). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en: www.fao.org/forestry/23224-015b0b120eb03aa8b646ce6e3095c7a6a.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2019. FAOSTAT. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gerber, P., T. Vellinga, C. Opio and H. Steinfeld. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139:100-108. <http://doi:10.1016/j.livsci.2011.03.012>.
- Gerber, P. J., A. N. Hristov, B. Henderson, H. Makkar, J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, T. Adesogan, W. Z. Yang, J. M. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra and S. Oosting. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7:220-234. <http://doi:10.1017/S1751731113000876>
- González, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. En el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis Mg. Sc., Turrialba, CR, CATIE. (en línea). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2922e/A2922e.pdf>.
- González-Quintero, R., T. Kristensen, M. S. Sánchez-Pinzón, D. M. Bolívar-Vergara, N. Chirinda, J. Arango, H. Pantevez, R. Barahona-Rosales and M. T. Knudsen. 2020. Carbon footprint, non-renewable energy and land use of dual-purpose cattle systems in Colombia using a life cycle assessment approach. *Livest. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104330>
- Herrero, M., P. Gerber, T. Vellinga, T. Garnett, A. Leip, C. Opio, H.J. Westhoek, P.K. Thornton, J. Oelsen, N. Hutchings, H. Montgomery, J.F. Soussana, H. Steinfeld and T.A. McAllister. 2011. Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology* 166-167, 779-782. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083>
- Hristov, A. N., T. Ott, J. Tricarico, A. Rotz, G. Waghorn, A. Adesogan, J. Dijkstra, F. Montes, J. Oh, E. Kebreab, S. J. Oosting, P. J. Gerber, B. Henderson, H. P. S. Makkar and J. L. Firkins. 2013. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91:5095-5113. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, GT). 2022. Base de datos de estaciones meteorológicas en Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. <https://insivumeh.gob.gt/>
- Iñamagua Uyaguari, J.P., A. Jenet, L. G. Alarcon Guerra, S. J. Vilchez Mendoza, F. Casasola Coto y M. A. Wattiaux. 2016. Impactos económicos y ambientales de las estrategias de alimentación en lecherías de Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 27(1):1-17. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21874>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, US). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. In J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner (Eds.). IPCC National Green House Gas Inventories Programme. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, US). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Vol. 4-1, IGES, Japan. 49 p. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- Johnson K.A. and D.E. Johnson. 1995. CH₄ emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Lee, G. 2002. Estudio preliminar para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono para *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliensis* y *Cybistax donnell smithii*, en bosques naturales de Guatemala. Tesis Ing. Fores., GT. USAC/FAUSAC. 75 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2010. Determinación del balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad. MAG/CATIE, Informe Final. 250 p.

- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2018. Estrategia Nacional de Ganadería Bovina Sostenible con bajas emisiones. 50 p.
- Manzanilla-Pech, C. I. V., D. Gordo, G. F. Difford, P. Løvendahl and J. Lassen. 2020. Multitrait genomic prediction of methane emissions in Danish Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 103
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17857m>
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2021. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala. SGCCC / PNUD. 836p. Disponible en: https://www.marn.gob.gt/paginas/Direccin_de_Cambio_Climatico. ISBN: 978-9929 8144-8-6.
- MLA (Meat & Livestock Australia, AU). 2020. The Australian Red Meat Industry's Carbon Neutral by 2030 Roadmap. 44 p. <https://www.mla.com.au/research-and-development/Environment-sustainability/carbon-neutral-2030-rd/>
- Montenegro Ballester, J., E. Barrantes Guevara y S. Ivankovich Cruz. 2020. Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 44:79-92. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40003>
- Montepeque, M. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn y actividades de conservación de los recursos naturales, en la empresa Pantaleón S.A., Siquinalá, Escuintla. Tesis Ing. Agr., GT. USAC/FAUSAC. 141 p.
- Muñoz, C., S. Hube, J. Morales, T. Yan and E. Ungerfeld. 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science* 175:37-46.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.001>
- Naranjo, A., A. Johnson, H. Rossow and E. Kebreab. 2020. Greenhouse gas, water, and land footprint per unit of production of the California dairy industry over 50 years. *J. Dairy Sci.* 103:3760-3773.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16576>
- O'Brien, D., T. Hennessy, B. Moran and L. Shalloo. 2015. Relating the carbon footprint of milk from Irish dairy farms to economic performance. *J. Dairy Sci.* 98:7394-7407.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9222>
- Rodríguez, V. M. 2017. Balance de gases de efecto invernadero, diversidad arbórea y su efecto en las reservas de carbono en usos de suelo de fincas ganaderas doble propósito del valle de Sico y Paulaya, Honduras (en línea). Tesis M.Sc. Turrialba. CR; Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). 76 p. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A10815e/A10815e.pdf>
- Sánchez Ledezma, W. 2018. Balance de gases de efecto invernadero en lecherías especializadas de Costa Rica. *Alcances Tecnológicos* 12(2):55-70.
<https://doi.org/10.35486/at.v12i2.92>
- Solís, J., C. Villanueva, G. Detlefsen, C. Brenes and S. Vélchez. 2019. Tree Cover on Cattle Farms in the Southeast Region of Guatemala. *American Journal of Agriculture and Forestry* 7(2):66-77.
<https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20190702.14>
- Tobar, D., A. Vega, E. García and C. Sepúlveda. 2018. Balance de carbono en fincas ganaderas de Honduras. Reporte Proyecto Paisajes Productivos. GEF, PNUD, MiAmbiente. 43 p.
- Vega, A. 2016. Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción bovina doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 119 p.
- Villa Alves, F., R. Giolo de Almeida and V. A. Laura. 2015. Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Embrapa, Brasília, DF. Documentos 210. 29 p.
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056155/carne-carbono-neutro-um-novo-conceito-para-carne-sustentavel-produzida-nos-tropicos>
- Villanueva, C. 2022. Análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas productoras de leche de Costa Rica. Tesis Doctorado. USC. España. 70 p.
- Wattiux, M. A., J. P. Iñamagua - Uyaguari, L. Guerra, F. Casasola and A. Jenet. 2016. Feeding and fertilization practices and greenhouse gas emissions in specialized dairy farms of Dos Pinos in Costa Rica. *Tropical Grasslands* 4(3):146-158.
[https://doi.org/10.17138/TGFT\(4\)146-158](https://doi.org/10.17138/TGFT(4)146-158)