

## **Artículo II: Balance de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas con y sin PSA, península de Nicoya, Costa Rica**

Cárdenas JM<sup>1,\*</sup>, Sepúlveda CJ<sup>1</sup>, Ibrahim M<sup>2</sup>, Tobar D<sup>1</sup>, Villanueva C<sup>1</sup>, Rodríguez E<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CATIE, Costa Rica; <sup>2</sup>IICA, Belice; <sup>3</sup>SINAC, Costa Rica  
(\*Autor para correspondencia: e-mail: jcardenas@catie.ac.cr)

### **Resumen**

El sector de la ganadería contribuye con un 14,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Costa Rica a través de su programa de carbono neutralidad 2021 realiza acciones para mitigar las emisiones de este sector que representa aproximadamente un 30%. Este estudio se enfoca en evaluar la efectividad del programa de pago por servicios ambientales de FONAFIFO en el balance de emisiones de fincas ganaderas que han sido beneficiarias del PSA comparado con fincas que no participaron en el programa. Se realizó un total de 52 encuestas (grupo PSA=26, grupo sin PSA=26) para obtener la cuantificación de emisiones t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> a través del análisis de ciclo de vida (alcance uno) y los factores de emisión de Costa Rica. Para las remociones de carbono se utilizó las tasas de fijación t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los usos de suelo encontrados por CATIE en la región Chorortega. El balance se obtuvo al restar el total de emisiones a las remociones. Los resultados muestran que el 96% de las emisiones para los dos grupos de fincas provienen del proceso de fermentación entérica de los rumiantes. Los usos de suelo que mayor aporte realizan a las remociones de GEI corresponden a bosque secundario, plantación forestal y pastura mejorada con árboles. El 100% de fincas que participaron en el programa presentó un balance positivo de GEI mientras que las fincas no participantes solo un 73%. El balance positivo de las fincas no se atribuye exclusivamente al aporte del programa de pago por servicios ambientales. Los aspectos de legislación forestal, bajos precios de la carne en décadas anteriores, cultura ambiental, topografía de la zona, adopción de sistemas silvopastoriles y otras alternativas de ingresos influyen a que fincas ganaderas, con y sin el programa, cuenten con un capital natural que otorgue balances positivos en emisiones de GEI.

***Palabras clave:*** emisiones, remociones, análisis de ciclo de vida

### **Abstract**

The livestock sector contributes 14.5% of the global greenhouse gases (GHG) emissions. Costa Rica through its 2021 carbon neutrality program executes actions to mitigate emissions from this sector that represents 30% approximately. This study focuses on evaluating the effectiveness of the FONAFIFO payment for environmental services program in the balance of GHG emissions from cattle farms that have been beneficiaries of the PES program compare with farms that have not participated in the program. Surveys were applied in 52 cattle farms (PES group=26 and without PES=26) to quantify the emissions of t CO<sub>2</sub>e year<sup>-1</sup> through the

life cycle analysis (scope 1) and to determine the emission factors of Costa Rica. Estimations of carbon removal were conducted using fixation rates ( $\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) for those land uses evaluated by CATIE in the Chorotega region. Emission balances were obtained by subtracting the total emissions to the removals. Results showed that 96% of emissions from both groups of cattle farms are consequence of enteric fermentation processes of the ruminants. Land uses with the greatest removal contribution are secondary forests, forest plantations and improved pastures with trees. All cattle farms under the PES scheme showed a positive balance of GHG emissions while only 73% of the farms not enrolled in the PES scheme showed a positive balance. Positive balances of cattle farms should not exclusively be accounted as an effect of the PES program. Aspects such as forest legislation, lower prices of beef in past decades, environmental culture, topography of the area, and adoption of silvopastoral systems also influences natural capitals within cattle farms under the PES scheme and without the PES scheme promoting positive balances of GHG emissions.

**Key words:** *emissions, removals, life cycle analysis*

## **Introducción**

La ganadería tiene un rol muy importante en la producción de alimentos a nivel mundial. Se considera que es el medio de vida de casi mil millones de personas en el mundo y aporta el 25% de las proteínas de las dietas alimentarias (FAO 2009, Opio et al. 2011). A pesar que el sector contribuye en aspectos sociales y económicos los informes de cambio climático le cobran la factura en aspectos ambientales (Opio et al. 2011, IPCC 2013). Las emisiones en el sector de la ganadería se estiman en 7,1 giga toneladas de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e año}^{-1}$ ). Esto representa cerca del 14,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen humano y muestra que este sector juega un papel muy importante en el cambio climático para la implementación de acciones de mitigación (FAO 2013). Una preocupación es que la demanda de carne y leche se ha incrementado y el desafío es como se puede responder a esta demanda y a la vez realizar acciones de mitigación para reducir el efecto de la actividad ganadera al cambio climático.

Las principales fuentes de gases de efecto invernadero en los sistemas de ganadería se derivan del cambio de uso de la tierra, fermentación entérica de los rumiantes, manejo del estiércol (liberación de  $\text{N}_2\text{O}$ ), uso de fertilizantes (liberación de  $\text{N}_2\text{O}$ ) y energía fósil (liberación de  $\text{CO}_2$ ) (FAO 2013). Sin embargo, para los sistemas de ganadería bovina de carne y leche, las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica representan alrededor del 50% del total de emisiones de la producción primaria (Cederberg et al. 2013). Entre las posibles acciones para reducir las emisiones sobresalen los avances en el desarrollo de tecnologías de producción más eficientes y las buenas prácticas de manejo de la actividad (FAO 2013). En Nueva Zelanda la ganadería de producción de leche a través de la combinación de diferentes alternativas de mitigación (mejora en el desempeño productivo del hato, genética, nutrición, uso de fertilizantes) logró un aumento del 15-20% en la producción de leche, y una disminución del 15-20% en las emisiones de GEI, lo que equivale una disminución de 11,7 a 8,2  $\text{kg}/\text{CO}_2\text{e}/\text{kg}$  de grasa más proteína corregida (Beukes et al. 2011).

Si bien, el sector agropecuario se destaca por su contribución de emisiones de GEI, la implementación y combinación de buenas prácticas en el manejo de la ganadería, como por ejemplo los sistemas silvopastoriles (SSP), ofrecen oportunidades para la consolidación de estrategias en mitigación al cambio climático (Villanueva et al. 2009). Este panorama se convierte en insumos para decisores de políticas en el desarrollo de acciones que promuevan prácticas de agricultura climáticamente inteligente. Por lo cual, en el contexto de América Latina, el sector de la ganadería tiene un rol importante, debido al uso de suelo que representa esta actividad productiva. Estudios realizados por Ibrahim et al. (2007) muestran que dependiendo de las condiciones agroecológicas, las pasturas mejoradas y los SSP pueden contribuir en un incremento de fijación de carbono entre 1,5 a 3 t C/ha/año.

Para Costa Rica el sector ganadero contribuye con un aproximado del 30% de las emisiones de GEI (IMN 2009). La compensación de emisiones en este sector es parte del componente estratégico de mitigación en la estrategia nacional de cambio climático para lograr la carbono neutralidad 2021. Este trata de desarrollar mecanismos y crear una cultura que integre los diferentes sectores productivos del país para la obtención de acciones concretas para la reducción de GEI (MINAET 2009). Como mecanismo para lograr este objetivo, en 2013 el Gobierno de Costa Rica hizo el lanzamiento del mercado doméstico voluntario de carbono, con el propósito de comercializar unidades de compensación costarricense (UCC) que son equivalentes a una tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este mercado contribuye al eje de mitigación donde se incluyen las acciones de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> a través de la reforestación, sistemas agroforestales, regeneración natural y deforestación evitada (MINAE 2013).

La carbono neutralidad de un país se logra mediante la compensación de las emisiones que generan los distintos sectores del país. El Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica ha definido los siguientes sectores: (1) energía; (2) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; y (3) desechos para la realización de inventarios nacionales de GEI (IMN 2013). Los inventarios de GEI a nivel de empresas o procesos productivos que sean de interés sugieren seguir los lineamientos del IPCC para construir la huella de carbono. La huella de carbono es la cantidad total de GEI asociados a un producto, a lo largo de su cadena de producción y se extiende en algunos casos hasta su vida útil (FAO 2010). Generalmente se expresa en kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub>e). A nivel internacional la Organización Internacional de Estandarización a través de las normas ISO 10040 y 14044 desarrolló el análisis de ciclo de vida (ACV) como un método para cuantificar impactos ambientales de una actividad productiva (ISO 2006) y con experiencias en el sector de la ganadería (FAO 2010).

El ACV es un método bien establecido para calcular las emisiones de GEI en el ciclo de vida de productos como leche y carne (Cederberg et al. 2013, FAO 2010). Las entradas y salidas del sistema productivo durante la cadena de producción (ciclo de vida) son registradas y es comúnmente llamado inventario de ciclo de vida (Schmidinger y Stehfest 2012). A partir del inventario de emisiones es posible realizar un balance de emisiones a través de las tasas de fijación de CO<sub>2</sub> de los distintos usos y coberturas de suelo que posee el

sistema de producción (CATIE-MAG 2010). Estudios realizados por CATIE con sistemas ganaderos de doble propósito en el pacífico norte de Costa Rica reportaron balances positivos de GEI entre 8,6 y 221 t CO<sub>2</sub> año. El aporte de fincas ganaderas con bosques, árboles en pasturas y la implementación de sistemas silvopastoriles podrían contribuir a obtener balances positivos de emisiones en fincas ganaderas y cambiar la mala imagen del sector de la ganadería (Ibrahim et al. 2013).

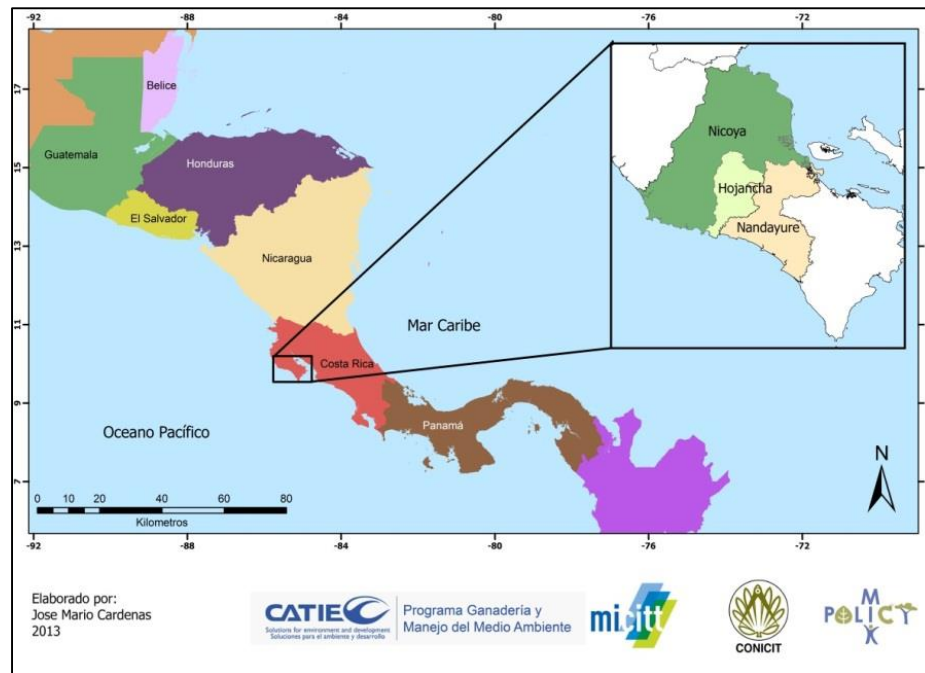
A nivel mundial el programa de pago por servicios ambientales (PSA) del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es considerado exitoso en la recuperación del 53% de la cobertura forestal del país (Pagiola 2008). Este programa reconoce cuatro servicios ambientales: (1) mitigación de gases de efecto invernadero; (2) protección del recurso hídrico (3) belleza escénica; y (4) biodiversidad. Para el 2013 FONAFIFO registró alrededor de 12.528 contratos para 934 274 hectáreas y 4 677 135 árboles aproximadamente en la modalidad de sistemas agroforestales (SAF) (FONAFIFO 2013). La contribución del programa de PSA es estratégico para los alcances del país en convertirse país carbono neutro (MINAE 2013).

En este contexto, se plantea el presente estudio, con el objetivo de evaluar la efectividad del programa de pago por servicios ambientales del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal en el balance de emisiones de fincas ganaderas de Hojancha, Nandayure y Nicoya, Costa Rica. Esta investigación busca encontrar si las fincas con PSA presentan balance de emisiones positivo respecto de las fincas sin PSA y entender que factores podrían dar respuesta para que las fincas ganaderas que reciben PSA presenten balances positivos.

## **Materiales y métodos**

### ***Área de estudio***

El estudio fue realizado en los cantones de Hojancha, Nandayure y Nicoya en la península de Nicoya, Costa Rica (Figura 1). Esta región es parte del corredor biológico Mesoamericano y se encuentra dentro del Área de Conservación Tempisque. Además, se encuentra enmarcada como zona piloto del proyecto Policymix financiado por la Unión Europea a través del Instituto Noruego para la Investigación de la Naturaleza (NINA); implementado por el programa de ganadería y manejo del medio ambiente (GAMMA) del CATIE. Este proyecto trata de evaluar el papel de los instrumentos político-económicos como mezcla para la conservación y provisión de los servicios ecosistémicos. Policymix pretende contribuir a la consecución de revertir las tendencias de la pérdida de servicios ambientales por el cambio de uso de suelo, a través del uso de instrumentos económicos en combinación con los instrumentos de política.



**Figura 10.** Ubicación de los cantones de Hojanicha, Nandayure y Nicoya, península de Nicoya, Costa Rica

El área de estudio presenta una extensión de 2160,7 km<sup>2</sup> con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1018 m.s.n.m. donde habitan aproximadamente 69 143 personas (INEC 2012). Las zonas de vida según Holdridge (1978) que se encuentran corresponden a bosque tropical seco, bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano en las partes altas de la península. La topografía de la zona es ondulada con pendientes fuertes (promedio del 45%) y con planicies en algunos sectores de Nandayure y Nicoya (Serrano et al. 2008). Los suelos se caracterizan por ser de los órdenes inceptisoles y alfisoles en la parte media y alta de la península. Las zonas bajas aledañas al río tempisque y el golfo de Nicoya presentan características de orden vertisoles (Bertsh 1995). El clima presenta una época seca de diciembre a mayo y una época lluviosa desde junio a noviembre. La precipitación media anual oscila entre los 1900 y 2300 mm, con una temperatura entre los 33°C y 22°C (IMN 2008).

Las actividades económicas que sobresalen son la ganadería, agricultura, forestal, pesca, apicultura, turismo y la prestación de servicios. Históricamente esta zona se caracterizó por un fuerte proceso de deforestación (1930- 1970) que condujo a que se deforestará más del 80% de la cobertura forestal. Este proceso de deforestación fue originado por el establecimiento de sistemas de ganadería extensiva y agricultura de granos básicos que provocó una fuerte degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, disminución de las fuentes de agua y un mal manejo en la conservación de los suelos (Arroyo et al. 2005, Salazar et al. 2007, Serrano et al. 2008, Calvo-Alvarado et al. 2009, Griscom y Ashton 2011).

## ***Selección de la muestra***

Se realizó un total de 52 encuestas a productores ganaderos seleccionados al azar en los cantones de Hojancha, Nandayure y Nicoya, península de Nicoya, Costa Rica. Se identificó una población de 42 fincas ganaderas (lista de cámara de ganaderos) que han sido beneficiarias del programa de PSA del FONAFIFO en las modalidades de SAF, protección de bosque y plantación forestal desde el año 2003 (inicio de la modalidad de SAF) hasta el 2012. Posteriormente se seleccionó una muestra al azar de 26 fincas participantes del PSA y 26 fincas al azar como grupo control proveniente de la lista de cámara de ganaderos. Una vez identificados los ganaderos se trabajó con los consejos sectoriales de los tres cantones (grupos focales) conformados por actores institucionales y organizacionales (Aigner 2010).

## ***Instrumento de recolección de información***

La obtención de los datos se realizó a través de una encuesta semiestructurada a los ganaderos con el enfoque de los capitales de la comunidad (Flora et al. 2013). La encuesta incluyó los temas de entradas y salidas de la finca que controlaba el ganadero para obtener la cuantificación de emisiones de GEI del sistema productivo para un alcance uno<sup>3</sup> (Cuadro 3). Con la información de las encuestas se elaboraron las bases de datos para obtener las emisiones de GEI expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub>e). Esta sección también indaga los sistemas de producción existentes en las fincas con y sin PSA. Además, el inventario de animales por categorías para cada finca, y el manejo de la alimentación y suplementación que utilizan. Para obtener las estimaciones de las remociones de t CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se consultó y constató el área total y los usos de suelo de las fincas como insumos para el cálculo de la estimación carbono para el balance de emisiones.

**Cuadro 3.** Variables para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y remociones en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales de la península de Nicoya, Costa Rica

<b>Sector</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>
<i>Energía</i>	<i>Diésel</i>	<i>Litros/año</i>
	<i>Gasolina</i>	<i>Litros/año</i>
	<i>Electricidad</i>	<i>kWt/año</i>
	<i>Biogás</i>	<i>Kg/año</i>
<i>Pasturas y forrajes</i>	<i>Fertilizantes nitrogenados</i>	<i>Kg N/año</i>

<sup>3</sup> Alcance uno del análisis de ciclo de vida: corresponde a las emisiones de GEI que se generan en el sistema de producción y que el productor puede controlar o tomar las decisiones con respecto al manejo de la finca, entradas y salidas. Esto incluye las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del transporte de insumos, uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de maquinarias dentro de la finca, uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de bombas de riego, emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la aplicación de fertilizantes nitrogenados a pasturas y forrajes, emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de la fermentación entérica, manejo de los residuos sólidos y líquidos (FAO 2010, Guerra 2013).

<b>Sector</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>
<i>Animal y desechos</i>	<i>Nº bueyes</i>	<i>Nº de animales/año</i>
	<i>Nº caballos</i>	
	<i>Nº machos en crecimiento</i>	
	<i>Nº hembras en crecimiento</i>	
	<i>Nº terneros</i>	
	<i>Nº terneras</i>	
	<i>Nº toros</i>	
<i>Remociones</i>	<i>Nº vacas adultas</i>	
	<i>Bosque secundario</i>	<i>Número de hectáreas</i>
	<i>Pastura mejorada con árboles</i>	
	<i>Plantación forestal</i>	
	<i>Banco forrajero</i>	
<i>Pastura natural con árboles</i>		

### ***Emisiones de GEI***

La estimación de las emisiones partió de una caracterización de los grupos de fincas ganaderas con y sin PSA, para entender el contexto productivo de la muestra de análisis. Se incluyó el acceso a la unidad productiva, servicios de electricidad, superficie y maquinaria, carga animal, forrajes, uso de combustibles en la finca, categoría de animales en la finca y modalidad de explotación. Se asumió el supuesto que la cantidad del hato no varía durante el año. Para este trabajo las emisiones no se estimaron hasta el producto final, los datos obtenidos se evaluaron como total de emisiones que produce la unidad productiva para efectos del balance de GEI a nivel de finca. Se utilizó los factores de emisión (Cuadro 4) avalados por el gobierno de Costa Rica para los inventarios nacionales de GEI del programa de cambio climático (IMN 2013).

Estos factores de emisión indican el valor de contaminación expresado en kg de CO<sub>2</sub>e para el sector energía, industria, agricultura y desechos. El sector de agricultura incluye la ganadería clasificados en sistemas de producción (leche, carne, doble propósito) y por categoría de animales. La obtención de estos factores en sistemas ganaderos proviene inicialmente de estudios realizados por Montenegro y Abarca (2001), donde se realizó un modelo que calculó para cada estado fisiológico y por sistema de producción la emisión de metano. Estos factores surgieron de modelos matemáticos ajustados a las condiciones tropicales donde se estimó la emisión de metano por fermentación entérica en bovinos, consumo de alimento, calidad de los principales forrajes de Costa Rica e información de estimaciones de la población animal. Estas emisiones estuvieron en función del consumo de alimento, calidad de la dieta, peso vivo, ganancia de peso, producción de leche, estado de crecimiento y la población de cada categoría animal en el país. A través de los años se ha ajustado con respecto a la evolución del hato nacional.

**Cuadro 4.** Factores de emisión de Costa Rica utilizados para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales de la península de Nicoya, Costa Rica

<i>Categoría</i>	<i>Cantidad por sistema de producción</i>			
	<i>Kg CH<sub>4</sub>/animal/año</i>			
	<i>Carne</i>	<i>Leche</i>	<i>Doble propósito</i>	<i>Otros</i>
<i>Terneros (as)</i>	19,48	20	16,81	
<i>Hembras en crecimiento</i>	63,61	48,69	41,91	
<i>Machos en crecimiento</i>	66,25		70,16	
<i>Hembras adultas</i>	85,80	85	85,67	
<i>Machos adultos</i>	111,70	111,10	111,70	
<i>Caballos (kg CH<sub>4</sub>/animal/año)</i>				18
<b><i>Otras fuentes de emisión</i></b>				
<i>Manejo de estiércol</i>	1	1	1	
<i>Biodigestores</i> <i>(kg CH<sub>4</sub>/kg desechos sólidos)</i>				0,002
<i>Electricidad año 2012</i> <i>(kg CO<sub>2</sub>e/kWh)</i>				0,0771
<i>Diesel</i> <i>(kgCO<sub>2</sub>/litro combustible)</i>				2,69
<i>Gasolina</i> <i>(kgCO<sub>2</sub>/litro combustible)</i>				2,26
<i>Pasto Cynodon dactylon</i> <i>(kg N<sub>2</sub>O/ha/año)</i>				4,94
<i>Pasto Hypharrenia rufa</i> <i>(kg N<sub>2</sub>O/ha/año)</i>				5,33

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica 2013

Este estudio tomo en consideración los sistemas de carne y doble propósito que corresponden a los sistemas de producción encontrados. Se incluyó las emisiones provenientes de la fermentación entérica de los animales, manejo de las excretas, uso de fertilizantes nitrogenados, combustibles y electricidad. Todas las emisiones fueron expresadas en t CO<sub>2</sub>-e/año como unidad utilizada en los inventarios de GEI (IPCC 2007). Los niveles de potencial de calentamiento (horizonte 100 años) corresponden a los reportados por el informe del Instituto Meteorológico Nacional que fueron CO<sub>2</sub>=1, CH<sub>4</sub>=21 y N<sub>2</sub>O= 310 (IMN 2013).



## **Remociones de carbono**

Las remociones de carbono corresponden a las tasas de fijación expresadas en  $tCO_2 \text{ año}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  para los usos de suelo de interés. Esto permite obtener los totales de carbono de la unidad productiva que pueden compensar las emisiones producidas. Para obtener las remociones de carbono en fincas ganaderas se utilizó la estimación de las tasas de fijación  $t CO_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  encontradas por CATIE-MAG (2010) en la región Chorotega, Costa Rica (Cuadro 5). Este estudio consideró biomasa arriba del suelo con el uso de ecuaciones alométricas (Ferreira 2001, Ruíz 2002, Pérez y Kanninen 2003).

**Cuadro 5.** Tasas de fijación ( $t CO_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) utilizados para la cuantificación de remociones en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales de la península de Nicoya, Costa Rica

<i>Uso de suelo</i>	<i>Tasa de fijación (<math>t CO_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}</math>)</i>
<i>Bosque secundario</i>	<i>3,89</i>
<i>Plantación forestal</i>	<i>3,21</i>
<i>Pastura mejorada con árboles</i>	<i>0,91</i>
<i>Banco forrajero leñosas</i>	<i>1,37</i>
<i>Banco forrajero gramíneas</i>	<i>4,64</i>

**Fuente:** CATIE 2010

Para carbono orgánico en el suelo tomó en cuenta los usos de suelo dominantes en la muestra de estudio que corresponden a bosque secundario, plantación forestal, pastura mejorada con árboles y pastura mejorada sin árboles. Los datos de caracterización arbórea provienen del establecimiento de parcelas de medición de  $1000 \text{ m}^2$ , donde se midió árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm. Para la medición de carbono orgánico en el suelo se estableció calicatas ( $0,30 \text{ m}^3$ ) con tres repeticiones (separadas por 50m) en cada parcela. En las calicatas se obtuvieron muestras suelo para análisis de densidad aparente (Forsythe 1975) y carbono orgánico (Walkley y Black 1934). A partir de estos datos y revisión bibliográfica se realizó una simulación con el software  $CO_2\text{fix}$  (CATIE-MAG 2010).

## ***Balance de gases efecto invernadero***

Los balances de GEI corresponden al análisis del estado de emisiones de un sistema productivo. Los resultados pueden ser negativos en el caso de que las emisiones sean mayor a las remociones, neutro para el caso de que las emisiones y remociones sean iguales, y positivo cuando las remociones son mayores a las emisiones. Los balances de GEI se realizaron a partir de las emisiones obtenidas del ACV de las fincas ganaderas con y sin PSA y las tasas de remoción de carbono para los usos de suelo predominantes (CATIE-MAG 2010, Ibrahim et al. 2013). El balance de gases se obtuvo con el uso de la siguiente formula:

$$\text{Balance de GEI} = \sum \text{ReCO}_2\text{-e (j)} - \sum \text{GEI (i)}$$

Dónde:

$\text{ReCO}_2\text{-e (j)}$ = remociones totales de t  $\text{CO}_2\text{-e}$  por uso de la tierra;  $\text{GEI (i)}$ = emisiones totales de t  $\text{CO}_2\text{-e}$  de la finca;  $(j)$ = uso de la tierra perteneciente a la finca;  $(i)$ = actividad o proceso de genera las emisiones.

## ***Análisis de datos***

Los datos obtenidos fueron sistematizados y analizados en el software estadístico *InfoStat* 2013 (Di Rienzo et al. 2013). Se realizó un análisis de varianza para identificar diferencias entre los grupos con y sin PSA con respecto a las emisiones de GEI, remociones de  $\text{CO}_2\text{-e}$  y el resultado del balance. Además, se comparó la cantidad de remociones con análisis de varianza para los grupos de fincas con y si PSA respecto a la topografía.

## **Resultados**

### ***Emisiones de GEI***

La caracterización de las fincas ganaderas (Cuadro 6) mostró diferencias en la distribución de los sistemas de producción para los grupos con y sin PSA. Se encontró que fincas con PSA tienen más afinidad a los sistemas de producción de carne (desarrollo 67% y cría 22%) y en menor porcentaje los sistemas de doble propósito (11%). En contraste, fincas sin PSA tuvieron una orientación con los sistemas de producción doble propósito (36%) y carne (cría 40% y desarrollo 24%). El uso de energía en las fincas corresponde mayormente a electricidad y combustibles fósiles (diésel y gasolina) para el uso de maquinaria y transporte. Con respecto al uso de fertilizantes nitrogenados, los ganaderos informaron que no aplican fertilizantes a las pasturas y con respecto a la fertilización de los bancos forrajeros lo realizan en algunas ocasiones con las excretas de los animales.

**Cuadro 6.** Caracterización de fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales (PSA) para el escenario de cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero de Hojancha, Nandayure y Nicoya, península de Nicoya, Costa Rica

<b>Característica</b>	<b>Fincas con PSA (n=26)</b>	<b>Fincas sin PSA (n=26)</b>
Acceso a la finca	89% carretera destapada 11% carretera asfaltada	84% carretera destapada 16% carretera asfaltada
Transporte de insumos	64% vehículo propio 36% contrata transporte	54% vehículo propio 23% contrata transporte
Servicio de electricidad	92%	100%
Maquinaria y vehículos	81% utiliza algún tipo de maquinaria	72% utiliza algún tipo de maquinaria
Uso de combustibles	100% utiliza algún tipo de combustible	100% utiliza algún tipo de combustible
Alimentación (%) Época seca	Pastura mejorada 37 Pastura natural 3 Banco forrajero 32 Subproductos 28 Concentrados 1 *Minerales	Pastura mejorada 26 Pastura natural 8 Banco forrajero 22 Subproductos 42 Concentrados 4 *Minerales
	Pastura mejorada 70 Pastura natural 12 Banco forrajero 5 Subproductos 11 Concentrados 2 *Minerales	Pastura mejorada 49 Pastura natural 19 Banco forrajero 0 Subproductos 22 Concentrados 10 *Minerales
Carga animal**	1,50 ± 0,17	1,80 ± 0,17
Sistemas de producción (%)	Doble propósito 11 Carne desarrollo 67 Carne cría 22	Doble propósito 36 Carne desarrollo 24 Carne cría 40

**Número total y porcentaje de animales por categorías**

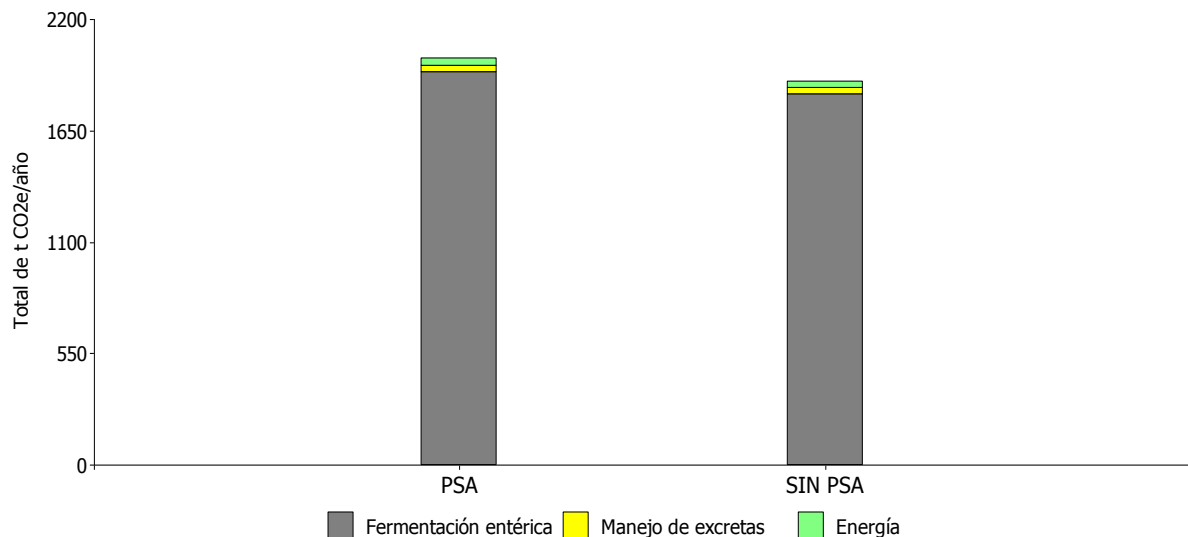
Categoría:	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
- Bueyes	4	0,29	0	0
- Caballos	22	1,59	21	1,58
- Machos en crecimiento	706	51,09	183	13,78
- Hembras en crecimiento	141	10,20	250	18,83
- Terneras	107	7,74	166	12,50
- Terneros	123	8,90	165	12,42
- Toros	12	0,87	33	2,48
- Vacas adultas	267	19,32	510	38,40
<b>Total</b>	<b>1382</b>	<b>100</b>	<b>1328</b>	<b>100</b>

\*Minerales se ofrecen a libre consumo,

\*\*La carga animal esta expresada en UA/ha. UA: unidad animal=400 kg

En términos productivos las fincas ganaderas no presentan diferencias significativas con respecto a la carga animal que poseen los grupos con y sin PSA, esto a pesar que la carga animal es menor para las fincas con PSA. Por otro lado, el efecto de las dietas para la estimación de emisiones en las fincas ganaderas no presenta un efecto directo en el cálculo de emisiones con el uso de los factores de emisión avalados por Costa Rica. Esto se convierte en una limitante debido a que los factores de emisión no consideran la información del sistema ganadero en el efecto de la alimentación para cada finca, ni la estacionalidad por estación climática (seca o lluviosa) para ninguna región del país.

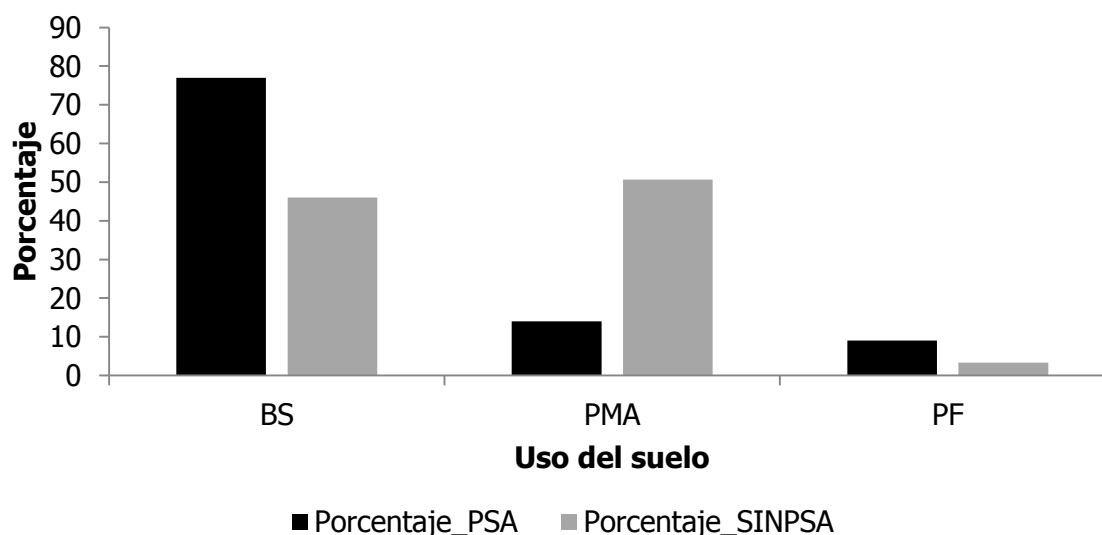
Se registró un total de 2007,53 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> para el grupo con PSA y 1982,84 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> para las fincas sin PSA (Figura 11). Estas emisiones se distribuyen en un área total 1752,5 ha para el grupo con PSA y en 712,8 ha para el grupo sin PSA. Estas diferencias en áreas para los grupos con y sin PSA ocasionó estandarizar las emisiones en relación a t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> /ha y t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> /UA. La relación emisiones por área total muestra valores para el grupo con PSA de 1,01 t CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 2,78 t CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el grupo sin PSA. Por otro lado, las emisiones por unidad animal (UA) se registraron en 2,01 t CO<sub>2</sub>e/UA para el grupo con PSA y 2,04 t CO<sub>2</sub>e/UA para el grupo sin PSA. Los promedios de emisiones por unidad productiva se contabilizó en 74,35 ± 8,42 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> para un área promedio de finca de 64,91±9,25 ha en las fincas con PSA. Mientras que en fincas sin PSA se registró en 75,71 ± 11,92 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> para un área promedio de 28,51±3,08 ha.



**Figura 11.** Total de toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup>) provenientes de fermentación entérica (FE), manejo del estiércol (ME) y consumo de energía (fósil y eléctrica) en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales (PSA) de Hojancha, Nandayure y Nicoya, Costa Rica. Fincas PSA (n=26), Fincas SIN PSA (n=26)

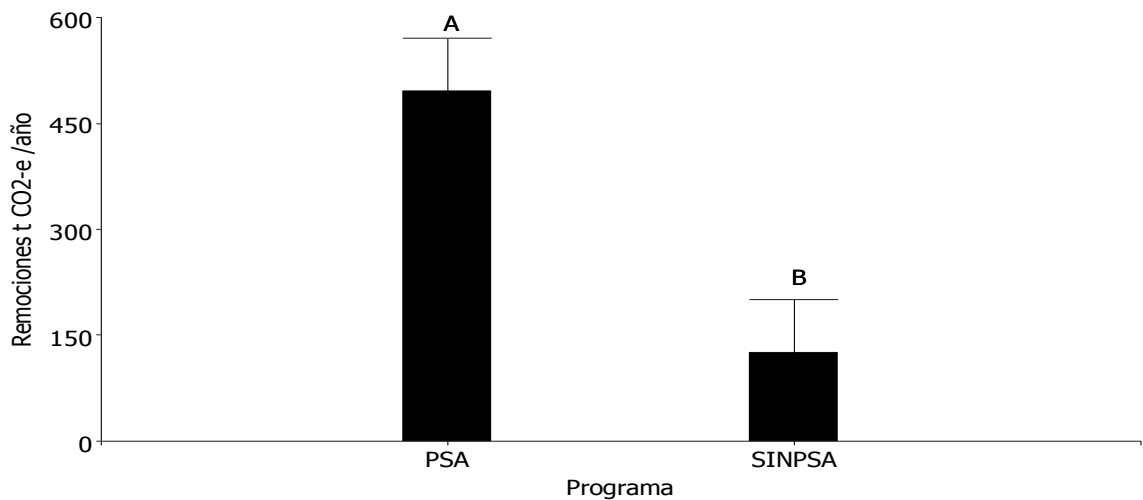
## Remociones de carbono

Los usos de suelo predominantes para obtener las remociones de carbono correspondieron a bosque secundario, plantación forestal y pasturas mejoradas con árboles (Figura 13). Las tasas de fijación reportadas por CATIE (2010) en la región Chorotega corresponden a 3,34 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para pastura mejorada con árboles, 11,78 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para plantación forestal, y 14,27 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para bosque secundario. Se encontró que las fincas con PSA presentan mayor porcentaje de bosque secundario (33%) y plantación forestal (8%) en relación a las fincas sin PSA. Mientras que el grupo de fincas ganaderas sin PSA presentó mayor área de pasto mejorado con árboles (64%).



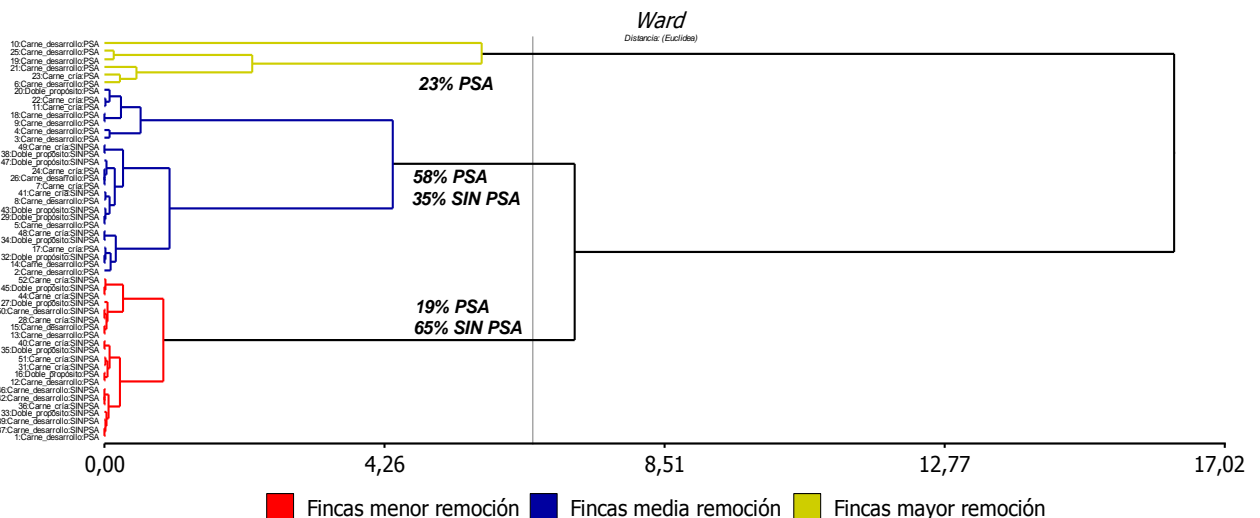
**Figura 12.** Distribución porcentual de las remociones de emisiones para los usos de la tierra de bosque secundario (BS), pastura mejorada con árboles (PMA) y plantación forestal (PF) en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales de Hojancha, Nandayure y Nicoya, Costa Rica

El grupo de fincas con PSA presentó una media por finca de 479,04 ± 75,18 t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>, mientras que las fincas sin PSA 128,35 ± 78,12 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> (Figura 14). La distribución de aportes por cada uso de suelo para las remociones de carbono para fincas con PSA corresponde a un 77% de bosque secundario, 9% plantación forestal, 13,2% pasto mejorado con árboles y 0,68% pasto mejorado sin árboles. Para el grupo sin PSA los aportes para la remoción de carbono provienen de un 46% del bosque secundario, 45,24% pasto mejorado con árboles, 5,44% pasto mejorado sin árboles y 3,32% de plantación forestal. El análisis de varianzas para las remociones de carbono encontró que existen diferencias significativas (p-value= 0,0022) para los grupos de fincas con y sin PSA, y una correlación positiva (0,8863) entre la variable remoción de carbono y área de la finca. Además, los análisis de las remociones para las fincas ganaderas con PSA y sin PSA para cada cantón no presentaron diferencias significativas.



**Figura 13.** Remociones de carbono tCO<sub>2</sub>-e/año en fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales en Hojancha, Nandayure y Nicoya. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas entre los dos grupos

Por otro lado, el análisis de conglomerados (Figura 14) identificó tres tipologías de fincas con respecto a la capacidad de remoción (menor, media y mayor) de emisiones de GEI. Para las fincas con menor remoción sobresalió que el 65% de fincas ganaderas sin PSA se encuentra en este grupo y solo un 19% con PSA. Para las fincas de media remoción se encontró un 50% de las fincas con PSA y un 35% de fincas sin PSA. Estos dos tipos se caracterizan por la presencia de los sistemas de producción de carne (cría y desarrollo) y doble propósito. Por último, para las fincas con mayor remoción correspondió al 23% con PSA y no se presentó ninguna finca sin PSA. Estas fincas se dedican a los sistemas de producción de carne.

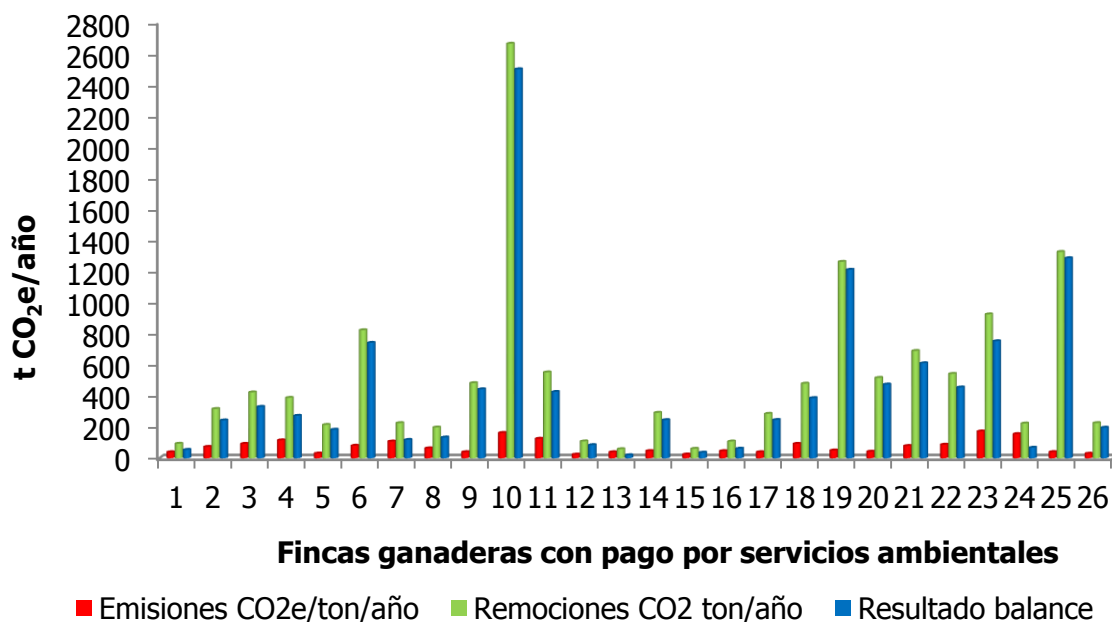


**Figura 14.** Análisis de conglomerados (p-value: <0,0001) para la variable remociones de carbono (t CO<sub>2</sub>e/año) en función del sistema de producción y la pertenencia al programa de pago por servicios ambientales en fincas ganaderas de la península de Nicoya, Costa Rica

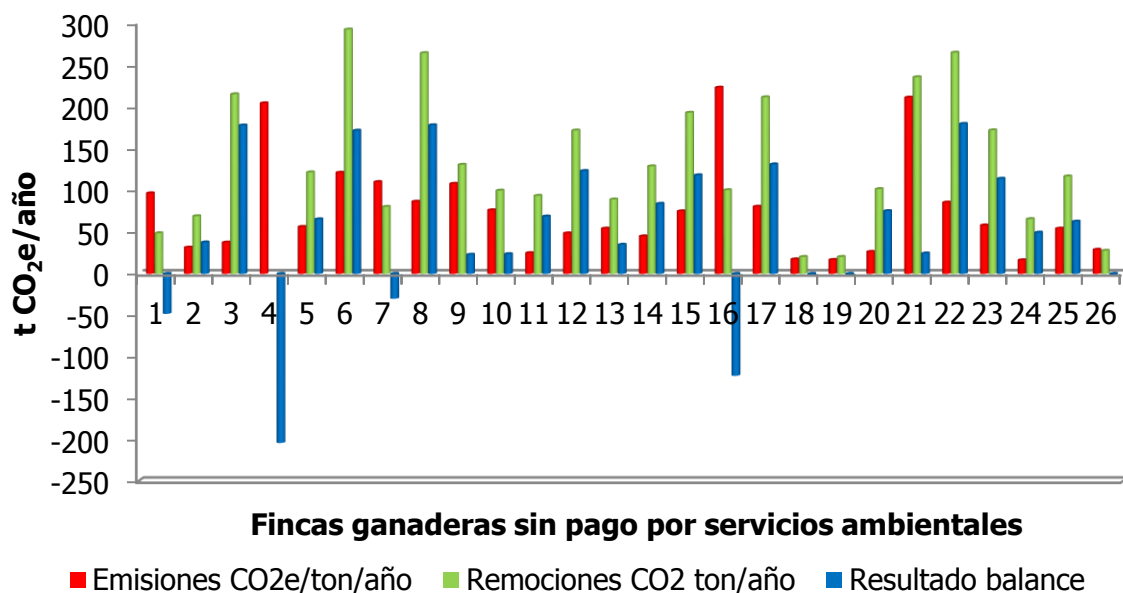
### ***Balance de gases de efecto invernadero***

Para este estudio se consideraron supuestos, debido a la temporalidad de los usos de suelo que puedan recibir por el manejo productivo. Los supuestos que se tomaron en cuenta son los siguientes: (1) composición del hato no varía dentro del año; (2) demanda de insumos no varía significativamente; (3) el uso de suelo pasturas mejoradas con árboles se asume que cuenta con un manejo adecuado (pastoreo rotacional, buena cobertura) y la presencia de árboles se mantendrá por un período de 20 años; (4) las tasas de fijación se relacionan a las condiciones de la península de Nicoya y (5) los demás usos de suelo como banco forrajero, pastura natural con y sin árboles no se incluyeron debido a la incertidumbre sobre el buen manejo de las pasturas y el manejo intensivo de corta que recibe el banco forrajero.

Se encontró que el 100% de las fincas con PSA (Figura 16) y el 73% sin PSA (Figura 17) presentaron un balance positivo de emisiones de GEI en sus fincas. El balance neto para fincas ganaderas con PSA se favoreció por la tenencia de áreas de bosque secundario, plantaciones forestales y pasto mejorado con árboles. Para las fincas sin PSA contribuyó la presencia de bosque secundario y pasto mejorado con árboles. El 27% de fincas sin PSA con balance negativo presentó rangos de emisiones entre los -1,21 y -122,62 t CO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup>. Además, los resultados del balance mostró diferencias significativas (p-value= 0.0249) entre el grupo con y sin PSA. Por lo tanto, fincas ganaderas con PSA presentaron medias positivas mayores de 422,09 ± 101,97 t CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup> en comparación con fincas sin PSA que obtuvieron 48,77 ± 15,40 t CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>.

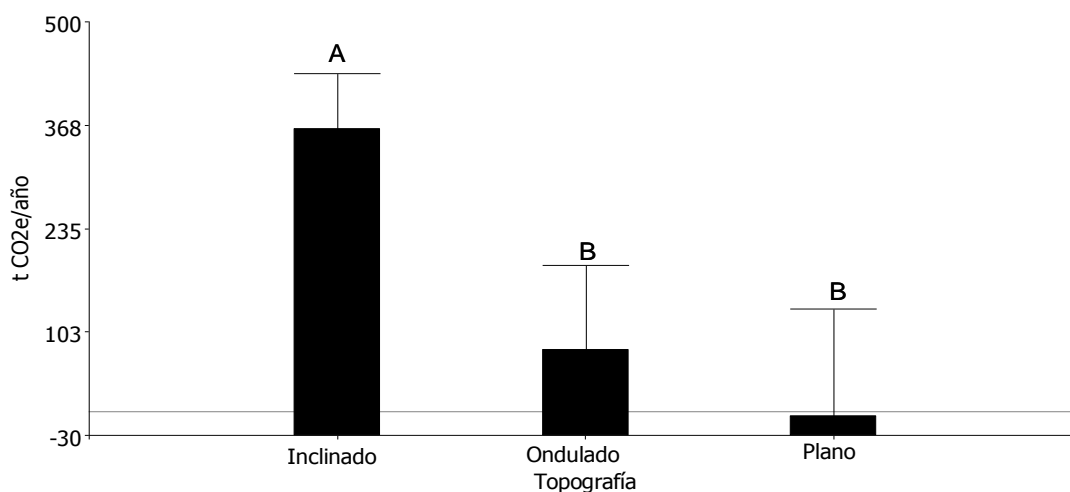


**Figura 15.** Balance de gases de efecto invernadero para fincas ganaderas con pago por servicios ambientales de la península de Nicoya, Costa Rica



**Figura 16.** Balance de gases de efecto invernadero para fincas ganaderas sin pago por servicios ambientales de la península de Nicoya, Costa Rica

Por otro lado, el análisis de correlación a través de tablas de contingencia encontró una correlación significativa (Chi Cuadrado MV-G2,  $p$ : 0,0173) para las variables topografía y resultado del balance. A partir de este análisis se procedió a realizar análisis de varianza. Los resultados en este estudio evidencian que las fincas ganaderas con pendiente alta se vieron favorecidas al obtener balances positivos de emisiones (Figura 17).



**Figura 17.** Análisis de comparación de medias entre el superavitario de t CO2 año-1 con respecto a la condición de la pendiente alta ( $\geq 60\%$ ), media (entre 30y 60%) y baja (de 0 a 30%) ( $p$ -value: 0,0201) para el total de fincas ganaderas con y sin pago por servicios ambientales en Hojancha, Nandayure y Nicoya, Costa Rica. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas y las líneas el error estándar



Se evidencia que las fincas no participantes que presentaron un balance negativo de emisiones tienden a estar en áreas de menor pendiente, lo cual les brinda un mayor costo de oportunidad para el desarrollo de la ganadería u otras actividades productivas. El análisis de varianza encontró diferencias significativas ( $p$ -value: 0.0201) y junto con el análisis de comparación de medias evidenció que el superávit de  $t\ CO_2\ año^{-1}$  fue mayor para fincas ganaderas con pendiente alta ( $363 \pm 69,98\ t\ CO_2\ año^{-1}$ ).

## **Discusión**

Las emisiones de metano provenientes del proceso de fermentación entérica (FE) suceden de manera natural en los animales rumiantes como parte de su proceso digestivo (Cederberg et al. 2013). Por lo cual, la composición y digestibilidad de la alimentación en animales rumiantes ha demostrado que influye directamente en la producción de metano, y por ende en las emisiones de las excretas de nitrógeno y materia orgánica (Dourmad et al. 2008). Los alimentos de baja digestibilidad ocasionan un aumento de metano. La cantidad de emisiones por FE comprenden el mayor porcentaje con valores entre el 70 y 80% de las emisiones totales (Gerber et al. 2013). Los estudios realizados en Guanacaste por CATIE (2010) encontraron que las emisiones provenientes de la FE corresponden a un 87%. Por otro lado, Hassan (2011) en fincas ganaderas de Panamá encontró que las emisiones de FE correspondían a un rango del 96 y 98% de las emisiones totales. Si bien, estos resultados evidencian que las emisiones de FE son el componente más importante, se debe tener en cuenta el proceso metodológico empleado, y las diferencias que presentan las emisiones para época seca y lluviosa según el manejo productivo.

Estudios realizados para la cuantificación de emisiones en Costa Rica evidencian que las emisiones de FE están influidas por el manejo alimenticio y la época climática del año (Guerra 2007, CATIE 2010, Hassan 2011). Por lo cual las emisiones tienden a ser mayores en época seca que en época lluviosa. Esto se relaciona a que la calidad del forraje posee una menor digestibilidad y calidad de materia seca en época seca (Villanueva et al. 2009). Además, limita el uso de los factores de emisión de Costa Rica, por la incertidumbre de sobreestimar o subestimar en la cuantificación. Por lo tanto, es importante destacar que el contraste de calidad de alimento entre época seca y lluviosa, es un punto crítico a mejorar para la reducción de emisiones por FE y la consecución de balances positivos o neutrales, acompañado de prácticas que aumenten el capital natural del sistema productivo.

Para las fincas en estudio con y sin PSA la tenencia de áreas de bosque secundario corresponde al uso de suelo que más acumuló carbono para las remociones. De igual manera lo reportan estudios realizados por CATIE y el proyecto GEF/Silvopastoril en la región Chorotega y Esparza, donde se obtuvieron valores de  $180\ t\ C\ ha^{-1}$  y  $297,6 \pm 72,6\ t\ C\ ha^{-1}$  (Ibrahim et al. 2007, CATIE 2010). Los resultados de este estudio concuerdan para el grupo de fincas con PSA donde el mayor aporte para las remociones corresponde al bosque secundario (Figura 12). Según Smith et al. (2007) la presencia de bosques en sistemas ganaderos presenta un gran potencial para la mitigación al cambio climático a través del aumento en las tasas de carbono secuestrado. Para el IPCC (2007) el 80% de las emisiones

del sector ganadería pueden ser compensadas con la adopción de sistemas silvopastoriles y tecnologías de alimentación (Kasterine y Vanzetti 2010).

Los estudios realizados para obtención de balance de emisiones en 2010 para Guanacaste mostró fincas con valores positivos en promedio de 97 t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> en sistemas doble propósito. Para sistemas de producción de carne y lechería intensiva los resultados oscilaron entre los -85.3 y -111.7 t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> (CATIE 2010). En fincas doble propósito en Panamá Hassan (2011) obtuvo valores entre 2.79 y -5.27 t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> para fincas con manejo tradicional y manejo mejorado. Estos balances están vinculados a la presencia o ausencia de usos de suelo que favorecen la remoción de emisiones. Los resultados encontrados para los grupos con y sin PSA en Hojancha, Nandayure y Nicoya de igual forma se vieron influenciados por los usos de suelo presentes en las fincas y no así por las emisiones donde no existieron diferencias significativas.

En términos de entender la contribución del PSA para los resultados obtenidos, la variable pendiente evidenció un aporte para la existencia de mayor cantidad de remociones de carbono (Figura 15). Distintos estudios concuerdan que la pendiente es un factor determinante en la península de Nicoya para la adopción del PSA. Estudios realizados por Vingelsgård (2012) concuerdan en que las áreas con PSA en la península de Nicoya se ven afectadas por la pendiente limitando su costo de oportunidad para otra actividad productiva, lo cual repercute en un mayor capital natural para las fincas. Para Sanchez-Azofeifa et al. (2007) la variable pendiente se asocia negativamente con la deforestación o cambio de uso de suelo en Guanacaste, repercutiendo positivamente con las áreas boscosas. Por estas razones, los propietarios con condiciones marginales de tierras y terrenos con pendientes inclinadas presentan una relación positiva para participar en el PSA y utilizar las áreas de menor pendiente para el desarrollo de la ganadería (Zbinden y Lee 2005). Esto puede ser considerado un factor de importancia en zonas de alta prioridad para adopción de PSA.

Un análisis más integral de la existencia del capital natural para fincas con PSA en la península de Nicoya responde a diversos factores, muchos de los cuales no estarían relacionados a la política de PSA. Salazar et al. (2007) documentó el proceso de restauración forestal en la zona de Hojancha, donde resaltó el proceso de deforestación para el establecimiento de sistemas de ganadería extensiva y agricultura de granos básicos en 1970, que condujo a la reducción del 80% de cobertura forestal en la zona. Su análisis evidenció que el proceso de restauración de la cobertura forestal comprendió acciones de reemplazo al establecer áreas de plantación forestal en sitios degradados, rehabilitación a través de la adopción de sistemas agroforestales y silvopastoriles y de restauración de áreas abandonadas para la regeneración natural. Además, indica que el cambio de uso de suelo responde a tendencias de políticas y mercados nacionales e internacionales. Para Calvo-Alvarado et al. (2009) y Robalino et al. (2008) consideran que el PSA no ha contribuido a aumentar los bosques en Guanacaste, ni la reducción de la deforestación. Por lo cual, se podría asumir que la carbono neutralidad en las fincas evaluadas no se atribuye directamente al efecto de adopción del PSA.

En la actualidad, el país dirige esfuerzos para la meta carbono neutralidad en 2021. Las tendencias de políticas sugeridas por Salazar et al. (2007) orientan un reflejo de los esfuerzos desde la década de los 70 con la creación de incentivos forestales, ley forestal, programa de PSA y recientemente en 2013 el lanzamiento del mercado voluntario doméstico de carbono (Sánchez 2009, MINAE 2013). Esta combinación de políticas para la generación de servicios ambientales hacen de Costa Rica objeto de análisis por considerarse pionero en el tema de PSA a nivel mundial (Pagiola 2008, Robalino et al. 2008).

## **Conclusiones**

El balance de emisiones resultó positivo para la muestra de fincas ganaderas con PSA y para un 73% sin PSA. Los usos de suelo bosque secundario, pastura mejorada con árboles y plantaciones forestales favorecieron la obtención de balances positivos de emisiones. Existe una relación positiva entre área de la finca y capacidad de remoción de emisiones en las fincas de estudio. La estrategia para reducir emisiones se debe enfocar en el proceso de fermentación entérica, debido a que es la principal fuente de emisiones en las fincas evaluadas con y sin PSA. Existe la limitante de no considerar el manejo alimenticio, ni las estacionalidad climática con el uso de los factores de emisión de Costa Rica, lo cual genera incertidumbre en la cuantificación de emisiones. La fijación y almacenamiento de carbono a través de bosques secundarios, plantaciones forestales y sistemas silvopastoriles es un mecanismo de gran contribución en la reducción de las emisiones del sector ganadería. La topografía de alta pendiente en las fincas, influyó positivamente en la obtención de balances positivos. Por lo tanto, fincas con pendiente alta presentan mayor porcentaje en áreas de bosques, lo cual, incentiva la adopción del PSA por el bajo costo de oportunidad que poseen.

## **Recomendaciones**

Se deben promover políticas e incentivos que promuevan la intensificación de la ganadería y permitan liberar áreas para el aumento de bosques secundarios, establecimiento de plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles. Esto puede contribuir significativamente a compensar emisiones de GEI en el sector de la ganadería. A nivel cultural los productores tienen alguna una percepción del programa de carbono neutralidad que podría favorecer a cumplir la meta país.

Es necesario informar a los productores sobre la doble contabilidad que se podría generar al utilizar las áreas con PSA de la finca para balances de emisiones. Además, entender cómo se maneja el mercado doméstico de carbono y las posibles acciones de ingreso a través de capacitaciones con las organizaciones ganaderas del país.

Se deben realizar esfuerzos por contar con factores de emisión con una menor incertidumbre en el sector de la ganadería ajustados a las regiones del país según épocas climáticas (seca o lluviosa). Esto puede contribuir significativamente a conocer los esfuerzos que tendrían los planes y estrategias de desarrollo en bajas emisiones a través de las acciones nacionales para la mitigación y adaptación que realiza Costa Rica.

## Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, proyecto Policymix, productores de Hojancha, Nandayure y Nicoya, cámara de ganaderos de Hojancha, Nandayure y Nicoya. Al Ing. Juan Bautista Méndez Cruz de la oficina del MAG Hojancha.

## Bibliografía

- Aignerren, M. 2010. La técnica de recopilación de información mediante los grupos focales. Universidad de Antioquia. Medellín. 32 p.
- Arroyo-Mora, J; Sánchez-Azofeifa, A; Rivard, B; Calvo, J; Janzen, D. 2005. Dynamics landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. *Agriculture Ecosystems & Environment* 106: 27-39
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo. San José, CR. 157 p.
- Beukes, P.C; Gregorini, P; Romera, A.J. 2011. Estimating greenhouse gas emissions from dairy systems using a mechanistic whole farm model and inventory methodology. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 708-720
- Calvo-Alvarado, J; MacLennan, B; Sánchez-Azofeifa, A; Garvin, T. 2009. Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management* 258: 931-940
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2010. Determinación del balance de los GEI en fincas ganaderas de la región de Chorotega como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Informe final. SP Nº 14-2009. 250 p.
- Cederbeg, C; Henriksson, M; Berglund, M. 2013. An LCA researcher's wish list – data and emission models needed to improve LCA studies of animal production. *Animal* 7:s2 212-219
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Dourmad, J.Y; Rigolot, C; Van der Werf, H. 2008. Emission of greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation. *In* *Livestock and Global Climate Change*. Cambridge University Press. 36-39 p
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación: la ganadería a examen. Roma. 200p.
- \_\_\_\_\_. 2010. Greenhouse gas emissions from the dairy sector: a life cycle assessment. Roma. 98 p.
- \_\_\_\_\_. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome. 139 p.
- Ferreira, CM. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.
- Flora, C; Flora, J. 2013. Rural communities: legacy and change. 4ed. Westview Press. Philadelphia, USA. 414 p.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2013. Distribución de hectáreas contratadas en pago por servicios ambientales, por año y por modalidad: período

- 1997-2012. (en línea). Consultado 20 octubre 2013. Disponible en [http://www.fonafifo.go.cr/paginas\\_espanol/servicios\\_ambientales/sa\\_estadisticas.htm](http://www.fonafifo.go.cr/paginas_espanol/servicios_ambientales/sa_estadisticas.htm)
- Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. IICA. San José, CR 212 p.
- Gerber, P.J.; Hristov, A.N.; Henderson, B.; Makkar, H.; Oh, J.; Lee, C.; Meinen, R.; Montes, F.; Ott, T.; Firkins, J.; Rotz, A.; Dell, C.; Adesogan, A.T.; Yang, W.Z.; Tricarico, J.M.; Kebreab, E.; Waghorn, G.; Dijkstra, J.; Oosting, S. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. In. 2013. Animal. England, p. 220-34
- Guerra, L. 2007. Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica. Thesis M.Sc, CATIE, Turrialba, CR. 105 p.
- Guerra, L. 2013. Metodología para el análisis de la huella de carbono a través del análisis de ciclo de vida. CATIE, GAMMA. Turrialba, CR. 16 p.
- Griscom, H; Ashton, M. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. Forest Ecology and Management 261: 1564-1579
- Hassan, J. 2011. El ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas doble propósito de la península de Azuero, República de Panamá. Thesis M.Sc, CATIE, Turrialba, CR. 162 p.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Life zone ecology. IICA. San José, Costa Rica. 216 p. (Serie de libros y materiales educativos IICA no. 34).
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas 45: 27-36
- Ibrahim, M; Sepúlveda, C; Tobar, D; Ríos, N; Guerra, L; Casasola, F; Vega, A. 2013. Balance de gases de efecto invernadero en los sistemas ganaderos de doble propósito en la región Chorotega.(en línea). Consultado el 20 de octubre de 2013. Disponible en <http://hdl.handle.net/123456789/230>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2008. Cambio climático: clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San José, CR. 75 p.
- \_\_\_\_\_. 2009. Inventario nacional de emisión de gases de efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. San José, CR. 78 p.
- \_\_\_\_\_. 2013. Factores de emisión de gases de efecto invernadero. San José, CR. 10 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, CR). 2012. X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011: Resultados generales. INEC. San José, CR. 142 p.
- \_\_\_\_\_. 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra, Suiza. 104 p
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- \_\_\_\_\_.2013. Working group i contribution to the IPCC fifth assessment report climate change 2013: the physical science basis. Final draft underlying scientific-technical assessment. Stockholm, Sweden. 2216 p.
- ISO (International Organization for Standardization). 2006. Environmental management-Life cycle assessment: requirements and guidelines. Disponible en [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=37456](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=37456)

- Kasterine, A; Vanzetti, D. 2010. The Effectiveness, Efficiency and Equity of Market-based and Voluntary Measures to Mitigate Greenhouse Gas Emissions from the Agri-food Sector. Disponible en [http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Fair\\_trade\\_and\\_environmental\\_exports/Climate\\_change/TER\\_UNCTAD\\_KasterineVanzetti.pdf](http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Fair_trade_and_environmental_exports/Climate_change/TER_UNCTAD_KasterineVanzetti.pdf)
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR), DCC (Dirección de Cambio Climático), PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2013. Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica MDVCCR: un instrumento hacia la C-Neutralidad. San José, CR. 168 p.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. San José, CR. 109 p.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. MAG, MINAE, PNUD, GEF. San José, Costa Rica. 131 p.
- Opio, C; Gerber, P; Steinfeld, H. 2011. Livestock and the environment: addressing the consequences of livestock sector growth. *Advances in Animal Biosciences* 2(3): 601-607
- Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics* 65: 712-724
- Pérez, L; Kanninen, M. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1):199-213
- Robalino, J; Pfaff, A; Sánchez-Azofeifa, A; Alpizar, F; León, C; Rodríguez, CM. 2008. Deforestation Impacts of Environmental Services Payments: Costa Rica's PSA Program 2000–2005. *Environment for Development*. 20 p.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Thesis M.Sc, CATIE, Turrialba, CR. 111 p.
- Salazar, M; Campos, J; Prins, C; Villalobos, R. 2007. Restauración del paisaje en Hojancha, Costa Rica. CATIE. 51 p. Informe Técnico N° 357
- Sánchez, O. 2009. El pago por servicios ambientales del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), un mecanismo para lograr la adaptación al cambio climático en Costa Rica. CATIE, UNEP, CATHALAC, the Global Mechanism. 223-242 p.
- Sánchez-Azofeifa, A; Pfaff, A; Robalino, J; Boomhower, J. 2007. Costa Rica's payment for environmental services program: intention, implementation, and impact. *Conservation Biology* 21: 1165–1173
- Schmidinger, K; Stehfest E. 2012. Including CO2 implications of land occupation in LCAs-method and example for livestock products. *Life Cycle Asses* 17:962-972
- Serrano, M; Campos, J; Villalobos, R; Galloway, G; Herrera, B. 2008. Evaluación y planificación del manejo forestal sostenible a escala de paisaje en Hojancha, Costa Rica. Turrialba, CR. 44 p.
- Smith, P; Martino D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C; Scholes, B; Sirotenko, O. 2007. Agriculture. *In* *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 44 p.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Casasola, F; Ríos, N; Sepúlveda, C. 2009. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. CATIE, UNEP, CATHALAC, The Global Mechanism. 103- 125 p.

- Vingelsgård, S. 2012. Environmental effectiveness, Economic effectiveness and Equity – a case study of payment for environmental services (PES) in Hojanca, Costa Rica. Tesis Mag Sc. Norwegian University of Life Sciences. 145 p.
- Walkley, A; Black, AI. 1934. An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38
- Zbinden, S; Lee, D. 2005. Paying for environmental services: an analysis of participation in Costa Rica's PSA program. World Development 33(2):255- 272