

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción doble propósito en fincas ganaderas de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agroforestería y Agricultura Sostenible**

**Andrés Vega Fonseca**

**TURRIALBA, COSTA RICA**

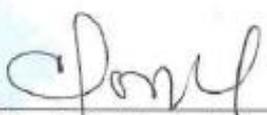
**2016**

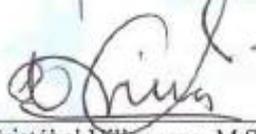
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

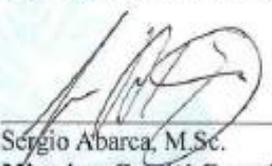
**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**

  
\_\_\_\_\_  
Diego Tobar, M.Sc.  
**Director de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Claudia Sepúlveda, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Cristóbal Vifanueva, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Sergio Abarca, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Francisco Jiménez, Dr. Sc.  
**Decano Programa de Posgrado**

  
\_\_\_\_\_  
Andrés Vega Fonseca  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado primero a Dios, porque sin sus bendiciones nada es posible.

A mis dos tesoros, mi hijo Eithan Andrés y mi esposa María Fernanda, por su apoyo incondicional y porque fueron mi luz para seguir adelante.

A mi padre Enrique que, aunque no pudo estar presente en este logro de mi vida, siempre lo está en mi corazón y mi mente, y sé que siempre estará orgulloso de mí; a mi madre Marta que siempre fue la luz al final del túnel, como guía y voz de aliento; a mis hermanos Andrea, Enrique y Alison por apoyarme siempre durante este camino.

Y a todos mis familiares y amigos quienes siempre me desearon lo mejor.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios que siempre ha estado a mi lado, que ha sido mi norte y ha puesto en mi vida a tantas personas maravillosas y de gran corazón; quienes granito a granito me han hecho crecer más como persona y realizarme como profesional; regalándome su cariño, apoyo, experiencias y conocimientos.

A Muhammad Ibrahim por haberme dado la oportunidad de conocerlo y haber compartido muchas experiencias con él, por sus consejos, por marcar un rumbo de éxitos en mi vida y por ser como un padre guiándome siempre por el buen camino.

A los compañeros del programa GAMMA y principalmente a los miembros de mi comité por todo su apoyo: Claudia Sepulveda, Cristobal Villanueva y muy especialmente a Diego Tobar por su paciencia, su gran apoyo, y que han sido más que asesores, mis amigos a los cuales siempre estaré muy agradecido.

El personal del CATIE que ha hecho grato cada instante que compartimos juntos.

A Sergio Abarca del INTA en Costa Rica por su apoyo durante la realización de mi proyecto de tesis, por sus consejos y por permitirme aprender muchas de las experiencias que él posee en este campo de la ganadería.

A los productores por su disposición en las fincas, su apoyo y por compartir gratas experiencias con ellos.

A mis compañeros y amigos de la promoción 2014-2015, quienes en todo momento se empeñaron en ser más que compañeros, bastones, hermanos, de todo un poco ¡Jaja!

De manera más que especial y eternamente a toda mi familia, por su paciencia y apoyo en el logro de mis metas.

***“Mil gracias a todos, tienen cada uno un lugar muy especial en mi vida, que Dios les bendiga”***

<b>CONTENIDO</b>	
<b>DEDICATORIA</b> .....	III
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	IV
<b>CONTENIDO</b> .....	V
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	XI
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS</b> .....	XIII
<b>RESUMEN GENERAL</b> .....	XIV
<b>SUMMARY</b> .....	XVI
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	6
<b>General</b> .....	6
<b>Específicos</b> .....	6
<b>Preguntas de investigación</b> .....	6
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>Gases de efecto invernadero</b> .....	7
<b>Importancia del sector ganadero y su relación a las emisiones de GEI</b> .....	9
<b>Costa Rica y las emisiones de GEI</b> .....	10
<b>Factores de emisión</b> .....	11
<b>Sistemas doble propósito y su importancia</b> .....	13
<b>Principales fuentes de emisión en los sistemas ganaderos de doble propósito</b> .....	14
<b>Cuantificación de GEI</b> .....	14
<b>Herramientas utilizadas en la cuantificación de gases</b> .....	17
<b>Ex – Ante Carbon balance Tool (EX – ACT):</b> .....	17
<b>Cool Farm Tool (CFT):</b> .....	18
<b>Modelo del INTA</b> .....	19

<b>Modelo desarrollado con el Proyecto FONTAGRO</b> .....	20
<b>Importancia del monitoreo de fincas ganaderas</b> .....	21
<b>Análisis socioeconómico en sistemas ganaderos</b> .....	21
<b>Alternativas para la mitigación de emisiones de GEI en sistemas ganaderos</b> .....	22
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	24
<b>CAPÍTULO I: ANALIZAR HERRAMIENTAS PARA LA ESTIMACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU POTENCIAL DE USO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE DOBLE PROPÓSITO EN EL TRÓPICO SUB HÚMEDO DE COSTA RICA</b> .....	30
<b>RESUMEN</b> .....	30
<b>SUMMARY</b> .....	31
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	32
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	34
<b>Área de investigación</b> .....	34
<b>Selección y validación del modelo</b> .....	38
<b>Límites del trabajo</b> .....	40
<b>SUPUESTOS</b> .....	42
<b>Variables consideradas por las herramientas</b> .....	45
<b>Estimación de GEI según herramientas</b> .....	49
<b>Emisiones de los modelos a través de estudios de caso</b> .....	51
<b>Selección y validación de la herramienta</b> .....	54
<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	58
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	59
<b>CAPÍTULO 2. DETERMINAR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA DOBLE PROPÓSITO DE LA CUENCA DEL RÍO JESÚS MARÍA EN COSTA RICA</b> .....	61
<b>RESUMEN</b> .....	61

<b>SUMMARY</b> .....	63
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	64
<b>OBJETIVOS</b> .....	65
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	66
<b>Área de investigación</b> .....	66
<b>Selección de fincas</b> .....	67
<b>Análisis de las emisiones de GEI</b> .....	68
<b>Herramienta seleccionada para la estimación de las emisiones de GEI</b> .....	69
<b>Límites del trabajo</b> .....	69
<b>Supuestos para el análisis de las emisiones</b> .....	71
<b>VARIABLES consideradas por el presente estudio</b> .....	72
<b>Emisiones de N<sub>2</sub>O por fertilizantes nitrogenados y pesticidas</b> .....	73
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> por combustibles fósiles</b> .....	74
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> por electricidad</b> .....	74
<b>Emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de la fermentación entérica</b> .....	74
<b>Emisiones de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol</b> .....	75
<b>Intensidad de las emisiones</b> .....	76
<b>Modelo de estimación parcial de GEI en fincas ganaderas</b> .....	77
<b>Relación intensidad de emisiones, productividad y costo marginal por litro de leche</b> .....	77
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	78
<b>Características generales de fincas ganaderas</b> .....	78
<b>Clasificación de las fincas según grupos</b> .....	79
<b>Emisiones de GEI en fincas ganaderas</b> .....	82
<b>Emisiones debidas al manejo del hato ganadero</b> .....	85
<b>Emisiones de GEI debido al manejo del hato ganadero según época climática</b> .....	88
<b>Emisiones por uso de combustibles</b> .....	89

<b>Emisiones debido al uso de combustibles por época .....</b>	<b>90</b>
<b>Emisiones debido a fertilizantes.....</b>	<b>91</b>
<b>Intensidad de las emisiones en fincas ganaderas doble propósito .....</b>	<b>92</b>
<b>Factores que influyen en la emisión en fincas ganaderas .....</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en el 2005 a nivel global y en América Latina y el Caribe (en porcentaje).....	7
<b>Figura 2.</b> Emisiones globales de la cadena de suministros de leche y carne vacuno por categoría de emisiones.....	8
<b>Figura 3.</b> Variación regional global de la producción de carne de vacuno e intensidades de emisión de GEI. ....	8
<b>Figura 4.</b> Variación regional global de la producción de leche de vacuno e intensidades de emisión de GEI. ....	9
<b>Figura 5.</b> Distribución de pasturas y división de la cuenca media del río Jesús María configuración topográfica y desnivel predominante. ....	34
<b>Figura 6.</b> Cumplimiento de variables (%) consideradas por las diferentes herramientas. El total de variables utilizadas fue 18.....	49
<b>Figura 7.</b> Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward y distancia de Euclídea) para las 17 fincas, a partir de variables (Carga Animal (UA/ha), producción leche (kg/finca/año), Total de Unidades Animales (UA) y Area Total (ha) en fincas de la cuenca de Río Jesús.....	50
<b>Figura 8.</b> Análisis de componentes principales en función de la Carga Animal (C.A._Año UA/ha), producción total de leche (kg/finca/año), total de Unidades Animales (Total _UA_Año) y Área Total (US_AT_ha) en relación a las fincas seleccionadas.....	50
<b>Figura 9.</b> Estimación de gases de efecto invernadero por tamaño de fincas y por modelo en t CO <sub>2</sub> e/año. ....	53
<b>Figura 10.</b> Estimación de GEI por tamaño de fincas y por modelo en kg CO <sub>2</sub> e/kg producto.....	53
<b>Figura 11.</b> Cumplimiento de criterios (%) considerados por las diferentes herramientas. El total de criterios utilizados fue 13.....	55
<b>Figura 12.</b> Distribución de pasturas y división de la cuenca media del río Jesús María configuración topográfica y desnivel predominante. ....	66
<b>Figura 13.</b> Análisis de componentes principales en función de la Carga Animal (UA/ha), producción leche (kg/finca/año), Total de Unidades Animales (UA) y Uso de Suelo Area Total (ha) en relación a las fincas seleccionadas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

<b>Figura 14.</b> Composición de las emisiones de GEI en 17 fincas ganaderas con sistemas de producción doble propósito pertenecientes a la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. .....	82
<b>Figura 15.</b> Composición de las emisiones de GEI en los sistemas de producción ganaderos doble propósito según grupos identificados de la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica.....	83
<b>Figura 16.</b> Emisiones de GEI generales por fermentación entérica y estiércol en t CO <sub>2</sub> e/año por categorías hetarias en fincas ganaderas doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María. ....	85
<b>Figura 17.</b> Emisiones de GEI generales por fermentación entérica y estiércol en t CO <sub>2</sub> e/ha/año por categorías hetarias en fincas ganaderas doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María. ....	86
<b>Figura 18.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> e para la producción de leche en fincas doble propósito según grupos en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. Las barras corresponden a medias y error estándar. Letras diferentes indican diferencias (p<0,05) según Tukey .....	93
<b>Figura 19.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> e por kg de carne en fincas doble propósito según grupos en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. Las barras corresponden a medias y error estándar. Letras diferentes indican diferencias (p<0,05) según Tukey. ....	94
<b>Figura 20. a.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> e por kg de leche y <b>b.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> e por kg carne genrado en fincas doble propósito según época climática en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. Letras diferentes indican diferencias (p<0,05) según Tukey.....	95
<b>Figura 21.</b> Modelo de estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> e/ha/año parciales en fincas ganaderas doble propósito de acuerdo a la variable predictora Carga Animal. ....	96
<b>Figura 22.</b> Relación entre la productividad y la intensidad de las emisiones de fincas ganaderas doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María. ....	97
<b>Figura 23.</b> Relación entre la utilidad o margen neto por unidad de producto y la intensidad de emisiones por unidad de producto de sistemas ganaderos doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María.....	98

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Factores de emisión de Costa Rica utilizados para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas.....	12
<b>Cuadro 2.</b> Total de cabezas de ganado bovino y fincas ganaderas en Costa Rica. ....	13
<b>Cuadro 3.</b> Fuentes principales de emisión en la huella de carbono de productos ganaderos en América Latina y el Caribe.....	14
<b>Cuadro 4.</b> Clasificación de las calculadoras según sus objetivos y zona geográfica. ....	16
<b>Cuadro 5.</b> Capacidades para la manipulación de las diferentes herramientas.....	17
<b>Cuadro 6.</b> Herramientas para la estimación de GEI y sus desarrolladores. ....	35
<b>Cuadro 7.</b> Herramientas para la cuantificación de GEI y sus desarrolladores. ....	36
<b>Cuadro 8.</b> Variables tomadas en cuenta por el presente estudio para la estimación de GEI. ....	36
<b>Cuadro 9.</b> Fuentes de emisión identificadas en la actividad ganadera.....	41
<b>Cuadro 10.</b> Parámetros requeridos para la estimación de GEI.....	42
<b>Cuadro 11.</b> Características de las herramientas empleadas para la medición de GEI.....	44
<b>Cuadro 12.</b> Ámbito geográfico considerado por las herramientas. ....	46
<b>Cuadro 13.</b> Variables asociadas a las emisiones consideradas por cada herramienta.....	46
<b>Cuadro 14.</b> Emisiones de GEI consideradas por las herramientas.....	48
<b>Cuadro 15.</b> Características productivas de fincas ganaderas doble propósito por grupo.	51
<b>Cuadro 16.</b> Características de las fincas seleccionadas según estudios de caso. ....	52
<b>Cuadro 17.</b> Aspectos definidos por expertos para la selección de la herramienta. ....	54
<b>Cuadro 18.</b> Ventajas y desventajas de los modelos.....	56
<b>Cuadro 20.</b> Características biofísicas y productivas de los sistemas doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María.....	67
<b>Cuadro 21.</b> Fuentes de emisión identificadas en la actividad ganadera y factores de emisión. ....	70
<b>Cuadro 22.</b> Parámetros requeridos para la estimación de GEI.....	71
<b>Cuadro 23.</b> Factores de conversión de CH <sub>4</sub> para vacunos/búfalos (Ym). ....	75
<b>Cuadro 24.</b> Características productivas de fincas ganaderas doble propósito por grupo.	81
<b>Cuadro 25.</b> Emisión de GEI totales por tamaño de fincas con producción doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María.....	84
<b>Cuadro 26.</b> Emisión de GEI totales según época por tamaño de fincas con producción doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María.....	84

<b>Cuadro 27.</b> Emisión de GEI por efecto del manejo del hato ganadero de fincas ganaderas doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. ....	87
<b>Cuadro 28.</b> Emisión de GEI por efecto de la gestión del estiércol en fincas ganaderas doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. ....	88
<b>Cuadro 29.</b> Emisión de GEI por el manejo del ganado en fincas ganaderas doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica, según época climática. ....	89
<b>Cuadro 30.</b> Emisión de GEI por consumo de combustibles fósiles en las fincas ganaderas doble propósito de la Cuenca del Río Jesús María. ....	90
<b>Cuadro 31.</b> Emisión de GEI por consumo de combustibles fósiles en fincas ganaderas doble propósito inmersas en la Cuenca del Río Jesús María. ....	91
<b>Cuadro 32.</b> Emisión de GEI por efecto de fertilizantes nitrogenados y por su compra y almacenamiento de estos insumos en fincas ganaderas doble propósito en la Cuenca del Río Jesús María, Costa Rica. ....	92

## LISTA DE ACRÓNIMOS

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**N<sub>2</sub>O:** Óxido nitroso

**C:** Carbono

**CH<sub>4</sub>:** Metano

**IPCC:** Panel Intergubernamental de Cambio Climático

**DIVMS:** Digestibilidad in Vitro de la Materia Seca

**PC:** Proteína cruda

**PEGB:** Programa Gusano Barrenador

**FE:** Fermentación entérica

**UA:** Unidades animales

**CO<sub>2</sub>e:** Emisiones de carbono equivalente

**SSP:** Sistemas silvopastoriles

**AFOLU:** Agricultura, silvicultura y otros usos de suelos, por sus siglas en inglés

**NAMA:** Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación, por sus siglas en inglés

**UCC:** Unidades de Compensación Costarricense

**ENCC:** Estrategia Nacional de Cambio Climático

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**PIB:** Producto interno bruto

**IMN:** Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

## RESUMEN GENERAL

El presente estudio evaluó los impactos ambientales de la ganadería en la emisión de gases efecto invernadero, principalmente los gases metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generados en fincas ganaderas inmersas en la cuenca del río Jesús María pertenecientes al trópico subhúmedo de Costa Rica. Para el cálculo de las emisiones, se utilizó la base de datos de las 17 fincas ganaderas monitoreadas con el proyecto “Diseño de sistemas silvopastoriles como estrategia para la adaptación y mitigación al cambio climático de sistemas ganaderos del trópico centroamericano”, FONTAGRO, en el periodo 2012-2013; esta información fue actualizada al período 2015.

En este estudio, se analizaron 5 herramientas de cálculo de GEI (Cool Farm Tool, EX – ACT, Modelo INTA, Modelo FONTAGRO e IMN), con el fin de comparar estas propuestas para ver cuál de ellas puede ser más apropiada para utilizar en la región. Para esto se identificaron las variables que utiliza cada herramienta para las estimaciones de GEI, separadas en cuatro ámbitos: ámbito geográfico (área de aplicación y características edafoclimáticas de la región), variables asociadas a las emisiones (categorías y características de los animales, estrategias de alimentación, pasturas, producción y costos), emisiones de GEI consideradas (emisiones por fermentación entérica, gestión del estiércol, fertilización, combustibles fósiles, electricidad y abonos orgánicos incorporados) y productos resultantes de las distintas herramientas (emisiones por producto, por área y gráficos de los resultados), para un total de 18 variables empleadas para el cálculo de las emisiones en fincas ganaderas. Apreciando que las estimaciones de GEI con valores más bajos o más conservadores fueron las herramientas generadas a nivel local, esta diferencia se relaciona con que las herramientas EX - ACT y Cool Farm Tool emplean fórmulas del IPCC con un alcance 1 (TIER 1); mientras que las generadas a nivel nacional tienen un alcance 1 y 2 (TIER 1 y 2).

Estas variables fueron validadas con expertos, donde las herramientas locales fueron las que tuvieron mayor aceptación, debido a que sus estimaciones proponían variables que contribuyen a mejorar los cálculos de emisiones principalmente en la separación de categorías para las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica y gestión del estiércol; mientras que las globales no presentan esta distinción, lo cual puede generar mayor incertidumbre para los análisis de GEI.

Posteriormente, se comparó las emisiones de GEI en fincas ganaderas según grupos de fincas (grande, medianas y pequeñas), con el fin de conocer cómo incide el manejo del sistema de producción ganadero en las emisiones de GEI en la región. Las emisiones de GEI totales de la finca fueron estandarizadas con la unidad de medida CO<sub>2</sub>e. Las fincas grandes presentaron los valores más altos de emisiones de GEI, y los más bajos las fincas pequeñas (grandes 139,48; medianas 95,95; pequeñas 42,03 t CO<sub>2</sub>e/año). Donde la mayor emisión proviene de la fermentación entérica (grande 86%, medianas 81%, pequeñas 72%); estas diferencias están relacionadas con la carga animal y el tipo de alimentación, siendo mayor en las fincas grandes.

Lo anterior se evidencia a nivel del hato, donde las mayores emisiones provienen del ganado en producción de esta categoría en las fincas posee el mayor número de animales (22,9 t CO<sub>2</sub>e/año), seguido de vacas secas (14,70 t CO<sub>2</sub>e/año) y novillas (9,98 t CO<sub>2</sub>e/año) con menores emisiones. Sin embargo, al comparar por eficiencia ganadera o de manejo de la finca, las emisiones por producto de leche y carne fueron 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche y 33,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne, siendo menor en fincas grandes (1,50 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche) debido a que presenta una mayor producción de leche mediante el uso de una mejor alimentación y nutrición en los animales; mientras que en fincas pequeñas y medianas tuvieron valores mayores (1,97 y 2,92 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche), y en emisiones por kg de carne las fincas grandes y medianas tuvieron los menores valores (26,98 y 25,47 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne) que las fincas pequeñas (43,70 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne), siendo estas las mayores emisoras.

Se evidencia que el manejo eficiente de la alimentación principalmente en la calidad de la dieta y la implementación de buenas prácticas ganaderas favorecen a reducir las emisiones de GEI asociadas al aumentar la eficiencia de los animales y también reflejando una mayor productividad y rentabilidad de las fincas con una menor intensidad de emisiones. Sin embargo, el estudio no encontró relación entre ingresos o ganancia por unidad de producto con la intensidad de emisiones.

## SUMMARY

This study evaluates the environmental impacts of livestock in the emission of greenhouse gases, mainly methane gas (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) generated immersed cattle ranches in the Rio Jesus Maria belonging to the humid tropics of Costa Rica. To calculate emissions database of the 17 cattle farms monitored the project "Design of silvopastoral systems as a strategy for adaptation and mitigation of climate change livestock systems of the Central American tropics" FONTAGRO in the 2012-2013 period was used this information was updated to 2015 period.

In this study five methodological proposals (Cool Farm Tool, EX - ACT Model INTA, Model FONTAGRO and IMN) were analyzed in order to compare these proposals to see which of them may be more appropriate to use in the region. Geographical area (area of application and soil and climatic characteristics of the region), variables associated with emissions (categories and characteristics of animals, strategies: For this the variables used by each tool for GHG estimates, separated into four areas identified food, pasture, production and costs), GHG emissions considered (emissions from enteric fermentation, manure management, fertilizer, fossil fuel, electricity and organic fertilizer incorporated) and products resulting from the various tools (emissions per product, per area and graphics results). For a total of 18 variables used to calculate emissions on cattle farms, appreciating that estimates of GHG with lower values or conservative were the tools generated locally, this difference is related to the EX tools - ACT and Cool Farm tool IPCC formulas used with scope 1 (TIER 1) while nationally generated has a scope 1 and 2 (TIER 1 and 2). Subsequently, these variables were validated with experts, where local tools were those that had greater acceptance, because their estimates proposed variables that contribute to improve emission estimates mainly on the separation of categories for methane emissions from enteric fermentation and manure management, while global not have this distinction, which can generate more uncertainty for GHG analysis.

Later GHG emissions on cattle farms was compared by groups of farms (large, medium and small) in order to know how management affects livestock production system in GHG emissions in the region. Total GHG emissions from the farm were standardized with the measurement unit CO<sub>2</sub>e. Large farms had the highest values of GHG emissions, and lower the (large 139,48, medium 95,95; small 42,03 t CO<sub>2</sub>e/year) small farms. Where most

emissions come from enteric fermentation (86% large, 81% medium, small 72%), these differences are related to stocking and type of feed, being higher in large farms. This is evidenced herd level, where the greatest emissions come from livestock production where this category on farms has the largest number of animals (22,9 t CO<sub>2</sub>e/year), followed by dry cows (14,70 t CO<sub>2</sub>e/year) and heifers (9,98 t CO<sub>2</sub>e/year) with lower emissions. However, when comparing efficiency by livestock or farm management, product emissions milk and meat were 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk and 33,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg meat is lower in large plantations (1,50 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk) because it has a higher milk production using better food and nutrition in animals, while in small and medium farms had higher values (1,97 and 2,92 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk ) and emissions per kg of meat large and medium farms had the lowest values (26,98 and 25,47 kg CO<sub>2</sub>e / kg meat) that small farms (43,70 kg CO<sub>2</sub>e /kg meat) and these are the greatest stations. Demonstrating that the efficient management of feeding mainly on diet quality and implementation of good farming practices favor to reduce GHG emissions associated with increasing the efficiency of animals and also reflecting increased productivity and profitability of farms lower emissions intensity. However, the study found no association between income or profit per unit of output with emission intensity.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La ganadería juega un papel importante en la economía y medios de vida de los países a nivel global, debido a que representa aproximadamente el 40% del producto interno bruto agrícola. También brinda un tercio del consumo mundial de proteínas y es la base de la seguridad alimentaria en zonas rurales (FAO 2014).

En América Latina, las áreas dedicadas a pasturas y agricultura comprenden el 30% del área total de la tierra (FAO 2010). El uso de suelo destinado a pasturas en algunos casos conlleva a un aumento de la deforestación para la ampliación de la frontera agrícola; mientras que en otros casos los sistemas tradicionales causan un pastoreo excesivo que ocasiona problemas de degradación de pasturas, erosión de suelo, disminución de la fertilidad y pérdida de biodiversidad. Estas consecuencias por degradación del suelo no solo repercuten en un sitio en específico, sino también en el ecosistema, sociedad y el cambio climático (FAO 2009, CATIE- The Global Mechanism 2012). La evidencia científica indica que el cambio climático tendrá cada vez más incidencia en la vida sobre el planeta, debido a alteraciones de este causados por el hombre, que incluyen el aumento en la temperatura, cambios en los patrones de lluvia y el incremento en los niveles del mar (IPCC 2007); esto debido al aumento de los gases de efecto invernadero.

La producción ganadera y el cambio climático tienen una relación compleja y multidireccional. Por una parte, el cambio climático influye sobre la ganadería al afectar las condiciones en que se desarrolla la actividad, la producción de forraje y la salud animal; por otra, la producción ganadera influye sobre el cambio climático, al generar, principalmente por los rumiantes la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La ganadería es uno de los sectores con más repercusiones medioambientales desde el ámbito local hasta el mundial y a la que se le responsabiliza directamente con el incremento de tres tipos de gases efecto invernadero como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), (Paustian *et al.* 2006; Steinfeld *et al.* 2006; IPCC 2007; FAO 2008).

La FAO (2013) indica que la ganadería emite cerca del 14,5% de las emisiones de GEI medido en equivalentes de CO<sub>2</sub>; estas emisiones surgen del cambio de uso de la tierra (CO<sub>2</sub>), fermentación entérica de los rumiantes (CH<sub>4</sub>), manejo del estiércol (N<sub>2</sub>O), uso de

fertilizantes ( $N_2O$ ) y energía fósil ( $CO_2$ ). 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).

Estudios realizados por Reid *et al.* (2004) encontraron que en dietas de condiciones tropicales se puede producir 3,5 veces más  $CH_4$  por unidad de producto (leche o carne) que en dietas de clima templado, por lo que la manipulación de la dieta es un factor importante para influir positiva o negativamente sobre las emisiones de este gas.

En Costa Rica, el sector ganadero contribuye con un aproximado del 30% de las emisiones de GEI (IMN 2009). Estudios realizados para la cuantificación de emisiones en Costa Rica (Guerra y Tobar 2010) y Panamá (Hassan 2011) evidencian que las emisiones de fermentación entérica están influidas por el manejo alimenticio. Por lo cual, las emisiones tienden a ser mayores en época seca que lluviosa. Esto se relaciona con que la calidad del forraje posee una menor digestibilidad, lo mismo que la materia seca en época seca (Villanueva *et al.* 2009); por lo tanto, es importante destacar que el contraste de calidad de alimento entre época seca y lluviosa es un punto crítico a mejorar.

Por otra parte, la integración de especies de leguminosas en potreros contribuye a mantener la productividad de las pasturas y a reducir el uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos, lo cual conlleva a que se presenten menores emisiones de  $N_2O$  en la atmósfera (Velkamp, Keller y Muñoz, 1998).

Existen otras tecnologías amigables con el ambiente, como lo son los sistemas silvopastoriles – SSP, donde a través de la incorporación del componente arbóreo dentro del sistema, no solo contribuimos a incrementar la productividad y la rentabilidad de las fincas y sino que también permite a estas ser más sostenibles y eficientes (Amézquita *et al.* 2004, Ibrahim *et al.* 2007b). Diferentes estudios han demostrado los beneficios de los SSP en la conservación de la biodiversidad y la generación de servicios ecosistémicos como: producción de madera, protección del suelo, fuentes de agua; y contribuye a la regulación del clima mediante el secuestro de carbono (Andrade e Ibrahim 2003; Harvey *et al.* 2003, Casasola *et al.* 2009).

Cárdenas *et al.* (2014), en la península de Nicoya, evidenciaron la importancia del capital natural (capitales de la comunidad) para la obtención del carbono neutralidad en fincas ganaderas de carne y doble propósito sometidas a pagos por servicios ambientales. Donde mediante los usos de suelo encontrados en las fincas, las áreas de bosque secundario, plantaciones forestales y árboles dispersos en potreros fueron los usos que contribuyeron a la remoción de emisiones de dióxido de carbono, dando lugar a un mejor balance de carbono.

Por lo anterior, el Gobierno de Costa Rica tiene, como parte de sus compromisos internacionales frente al IPCC, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC); acción que pretende mitigar los impactos a la atmósfera para alcanzar la meta país, que es llegar a ser la primera nación Carbono Neutro en el año 2021, lo cual indica que las emisiones emitidas son iguales a las emisiones mitigadas. 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).

Para alcanzar la carbono neutralidad, el compromiso de Costa Rica con las medidas de adaptación y mitigación se han ratificado en el Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 y la Política Agroalimentaria y de Desarrollo Rural 2010-2021, (MIDEPLAN 2010; Villegas 2013), bajo las cuales se ha iniciado la construcción de la estrategia nacional de ganadería baja en carbono, mediante la elaboración de las NAMA ganadería (Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación, por sus siglas en inglés) (MAG 2013).

Con la aplicación de las NAMA ganadería, Costa Rica pretende alcanzar un potencial de mitigación de 12,93 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en los próximos 15 años. Esto mediante el fortalecimiento de la cadena productiva bovina; del sistema MRV (medición, revisión y verificación); de las capacidades en el sector productivo, industrial, institucional; además de la vinculación de las NAMA con la estrategia nacional REDD+ bajo el programa de carbono neutralidad (MAG 2013).

Para cumplir con los objetivos globales y nacionales de reducción de emisiones y al mismo tiempo garantizar la seguridad alimentaria, paralelamente a los avances metodológicos, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y otras instituciones a nivel global han desarrollado en los últimos años numerosas herramientas para la evaluación de las emisiones generadas en las actividades agropecuarias. En la actualidad, existen más de 30 herramientas, cerca de 45 guías y protocolos y 25 distintos modelos de aplicación para la cuantificación de GEI en estos sistemas de producción (Colomb *et al.* 2012); las cuales son relevantes para identificar los focos con mayores emisiones y así enfocar los esfuerzos para mejorar dichos procesos para la reducción de los GEI. Estas herramientas tienen un nivel de complejidad limitado y deben ser consideradas como herramientas de apoyo a la toma de decisiones políticas o de gestión de proyectos.

El compromiso de Costa Rica de ser carbono neutral y el establecimiento de marcos políticos que incluyan estrategias de mitigación de emisiones en ganadería hacen que sea necesario identificar las acciones que contribuyan a entender mejor las emisiones de GEI provenientes de sistemas ganaderos.

Por lo anterior, el presente estudio se realizó con el propósito de identificar y analizar cuáles herramientas son las adecuadas para estimar las emisiones de GEI en sistemas ganaderos doble propósito, a nivel general y a nivel de grupos (fincas grandes, medianas y pequeñas); esto con el fin de conocer el panorama de las emisiones generadas por estos sistemas de producción en la región y contribuir al entendimiento de cómo el manejo de fincas con sistemas doble propósito pueden disminuir o aumentar las emisiones de GEI y, a través del análisis socioeconómico de las fincas, conocer la relación que existe entre la productividad y la ganancia por unidad de producto con la intensidad de las emisiones de estos sistemas de producción.

## JUSTIFICACIÓN

La ganadería es una de las principales actividades productivas en la región, en la cual por sus prácticas tradicionales han ocasionado un deterioro en los bienes y los servicios ambientales que los ecosistemas naturales y antrópicos generan. Este manejo ganadero ha conllevado que las fincas tengan sobrepastoreo, compactación del suelo, prácticas de labranza inadecuadas, carencia de métodos de conservación de suelos y ausencia de leguminosas y en ocasiones el uso del fuego (Días-Filho 2005); lo que ha generado que los productores tengan una baja rentabilidad asociado a una mayor emisión de gases de efecto invernadero. Actividad productiva a la que se le atribuye un aproximado del 30% de las emisiones generadas en Costa Rica, siendo las emisiones un factor que incide en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos.

En la actualidad, existen herramientas empleadas para la cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI) en fincas ganaderas; las cuales han sido creadas para representar de una forma estimada la situación sobre las emisiones generadas por estos sistemas de producción. Sin embargo, estas herramientas tienen un nivel de complejidad limitado, debido a que han sido desarrolladas con diferentes enfoques y objetivos. Además, cada una tiene un área geográfica de aplicación, lo que limita la posibilidad de utilizarse en otras regiones. Estas diferencias entre las herramientas hacen que sea clave, y como primer paso, identificar la herramienta que mejor se ajuste a las condiciones edafoclimáticas y de manejo presentes en la actividad ganadera en una zona en particular. Así se asegura que la estimación de las emisiones de GEI en estos sistemas ganaderos sea más precisa y confiable. Siendo considerada como herramienta de apoyo para la toma de decisiones políticas o de gestión de proyectos.

Existen muchos estudios que muestran la situación de las emisiones de GEI en actividades ganaderas, principalmente en sistemas de lechería especializada, así como de carne en la región; debido a que son sistemas más homogéneos que permiten una estimación más rápida de las emisiones de GEI; caso contrario sucede en los sistemas doble propósito donde se debe de cuantificar las emisiones de las diferentes categorías presentes en el hato, siendo un sistema más complejo. Por lo anterior, se han realizado pocos estudios para la cuantificación de las emisiones en fincas con sistemas doble propósito por su complejidad

a la hora de estimar las emisiones; por lo que el presente estudio pretende evaluar si el manejo presente en las fincas doble propósito contribuye o no a la reducción de las emisiones de GEI en la zona de estudio, con el fin de aportar soluciones para estas actividades productivas.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Contribuir al conocimiento sobre la utilización de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero y su potencial uso en sistemas ganaderos doble propósito en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

### **Específicos**

- Identificar y comparar las herramientas actuales para la estimación de gases de efecto invernadero y su potencial uso para la cuantificación de emisiones en sistemas de producción de doble propósito en el trópico subhúmedo.
- Determinar la emisión de gases de efecto invernadero en fincas en distintos grupos de fincas doble propósito en la cuenca del río Jesús María.
- Explorar los factores que explican la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de doble propósito.

### **Preguntas de investigación**

¿Qué herramientas han sido utilizadas para estimar GEI en fincas ganaderas de zonas tropicales?

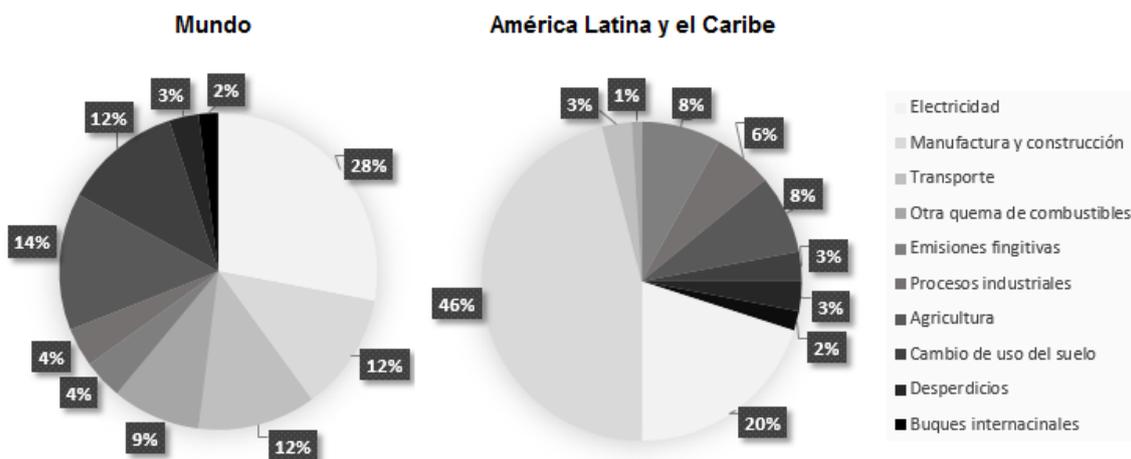
¿Cuál herramienta tiene el potencial de ser utilizada en sistemas de producción de doble propósito?

¿Cuáles factores tienen relación con la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero?

## MARCO TEÓRICO

### Gases de efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno por el cual algunos gases componentes de la atmósfera (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y los clorofluorocarbonos) retienen radiación de onda larga emitida por la superficie de la tierra e irradian parte de esta a la superficie de la tierra, evitando que se pierda en el espacio. La absorción de esta energía en la tropósfera permite la vida en la tierra, tal cual se conoce; porque en ausencia de este efecto, la temperatura promedio podría ser 30°C más baja (White, 2006).



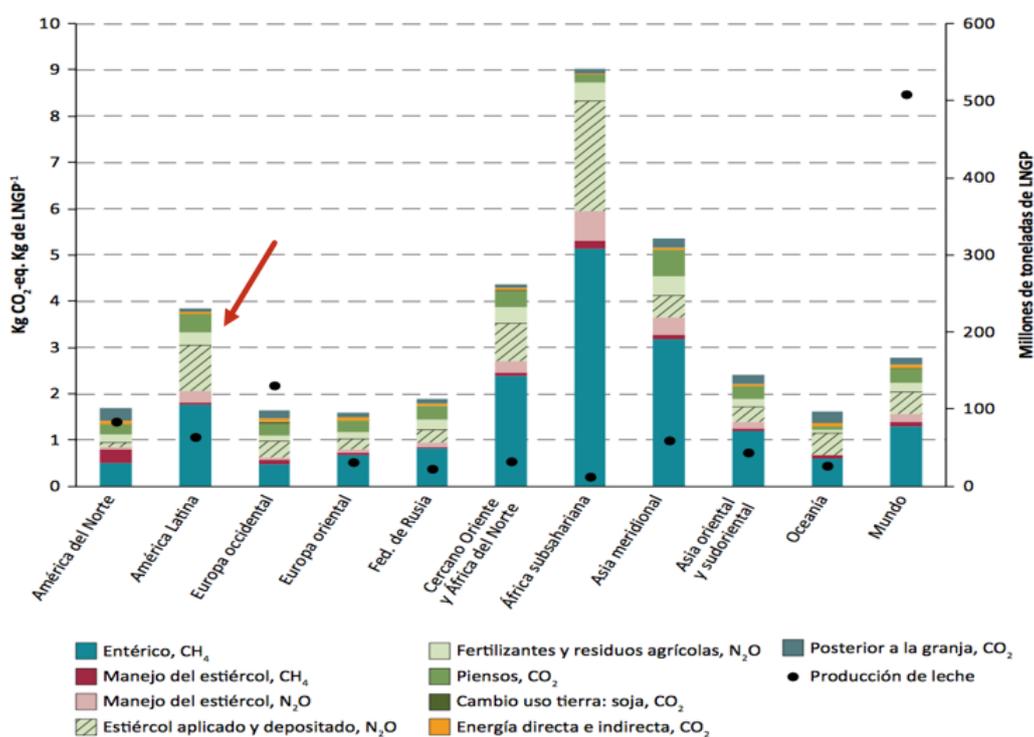
**Figura 1.** Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en el 2005 a nivel global y en América Latina y el Caribe (en porcentaje).

**Fuente:** La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis (CEPAL 2010)

Para los demás gases, se han registrado incrementos en las emisiones; debido a las actividades antropogénicas (humanas) desde la Revolución Industrial en el siglo XVIII, que han incidido significativamente en el efecto invernadero (White, 2006). Estos gases cuya concentración atmosférica es modificada por las actividades antrópicas: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso están generando aportes, como lo es el caso de la ganadería a nivel global.



América Latina es uno de los mayores emisores de GEI en cuanto a sistemas de producción de carne, principalmente por la fermentación entérica, manejo del estiércol y cambio de uso de suelo, este debido a la expansión del área agrícola (pasturas) en detrimento de las superficies forestales (**Figura 3**). En sistemas de producción de leche, América Latina se encuentra por encima del promedio mundial de emisiones, al ser sistemas más intensivos que por lo general no necesitan de áreas grandes, pero con una mayor intensificación en el recurso forrajero; por lo que las emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica, manejo del estiércol y la fabricación de piensos (**Figura 4**).



**Figura 4.** Variación regional global de la producción de leche de vacuno e intensidades de emisión de GEI.

**Fuente:** Modelo de contabilidad ambiental para la ganadería mundial (GLEAM) FAO, (Gerber *et al.* 2013).

### Importancia del sector ganadero y su relación a las emisiones de GEI

El crecimiento poblacional es estimado para el año 2050 en 9.100 millones de habitantes, se calcula un crecimiento del 70% en la producción de alimentos según FAO (2013). La producción ganadera suministra un tercio del consumo mundial de proteínas, por lo que se prevé un incremento de la producción mundial de carne y de leche para el 2050 en un 50%

de la producción (Steinfeld *et al.* 2006). El sector ganadero representa el 40% del producto interno bruto (PIB) a nivel mundial, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo (Steinfeld *et al.* 2006).

Actualmente, a estos sistemas de producción, se les vincula en la emisión de GEI generado por los rumiantes por procesos de fermentación entérica; del cual a nivel global se estiman emisiones de CH<sub>4</sub> de 80 millones de toneladas anuales. El 33% de las emisiones se producen por fermentación entérica y por el manejo del estiércol (Beauchemin *et al.* 2008). El CH<sub>4</sub> es el GEI predominante en la actividad ganadera y su potencial de calentamiento global al equivalente en CO<sub>2</sub> es de 1 kg CH<sub>4</sub> = 21 kg CO<sub>2</sub> (IPCC 2001, Reid *et al.* 2004, Vellinga 2008).

El segundo gas más importante es el N<sub>2</sub>O, este se genera en los residuos de las explotaciones ganaderas (estiércol, orina, aguas residuales) y la utilización de fertilizantes nitrogenados, el potencial de calentamiento global equivalente en CO<sub>2</sub> es de 1 kg N<sub>2</sub>O = 310 kg CO<sub>2</sub>. Estos factores de conversión actualmente se utilizan para informar sobre las emisiones bajo el Protocolo de Kyoto, aunque hay un debate sobre el calentamiento global específicamente de los potenciales que deben utilizarse según Castellón (2010).

Sin embargo, las principales fuentes de gases de efecto invernadero en los sistemas de ganadería se derivan del cambio de uso de la tierra (liberación de CO<sub>2</sub>), fermentación entérica de los rumiantes, manejo del estiércol (liberación de N<sub>2</sub>O), uso de fertilizantes (liberación de N<sub>2</sub>O) y energía fósil (liberación de CO<sub>2</sub>) (FAO 2013).

### **Costa Rica y las emisiones de GEI**

En Costa Rica, la ganadería ocupa alrededor del 28,5% del territorio (1 044 909,6 ha) (INEC 2015) y tiene una participación en el PIB del 14,7%, que contribuye directamente en los medios de vida de 153.000 familias e indirectamente en más de 300.000 familias (MAG-CATIE, 2010).

Las emisiones de GEI de Costa Rica se estimaron para el año 2010 en 8788,84 Gg CO<sub>2</sub>e, provenientes principalmente del sector energía, procesos industriales, sector AFOLU (agricultura, silvicultura, otros usos de los suelos) y desechos con emisiones de 7081,2; 802,72; -473,29 y 1378,21 Gg CO<sub>2</sub>e respectivamente (IMN 2014). El sector AFOLU muestra valores negativos debido a las remociones de carbono provenientes de plantaciones forestales y regeneración natural de bosques (3594,76 Gg CO<sub>2</sub>e) presentes en los sistemas agrícolas, sin embargo, el sector ganadero aporta un 55% de las emisiones del sector AFOLU (172,164 Gg CO<sub>2</sub>e) (IMN 2014).

Por su parte, el Gobierno de Costa Rica asumió el compromiso de reducir las emisiones por medio de medidas de adaptación y mitigación; las cuales se han ratificado en el Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 y la Política Agroalimentaria y de Desarrollo Rural 2010-2021 (MIDEPLAN 2010; Villegas 2013), bajo las cuales se ha iniciado la construcción de la estrategia nacional de ganadería baja en carbono, mediante la elaboración de las NAMA ganadería (Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación, por sus siglas en inglés) (MAG 2013).

Con la aplicación de las NAMA ganadería, Costa Rica pretende alcanzar un potencial de mitigación de 12,93 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e en los próximos 15 años. Esto mediante el fortalecimiento de la cadena productiva bovina, el fortalecimiento del sistema MRV (medición, revisión y verificación), fortaleciendo capacidades en el sector productivo, industrial, institucional y mediante la vinculación de las NAMA con la estrategia nacional REDD+ bajo el programa de carbono neutralidad (MAG 2013).

### **Factores de emisión**

Son factores que permiten estimar emisiones de GEI a partir de los datos de actividades disponibles (como toneladas de combustible consumido, toneladas de producto producido) y las emisiones totales de GEI. Los factores de emisión indican el valor de contaminación expresado en kg de CO<sub>2</sub>e para los diferentes sectores. 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 surgió inicialmente de estudios realizados por Montenegro y Abarca (2001), donde realizaron un modelo que calculó el metano para cada estado fisiológico y por sistema de producción. Estos factores provienen de modelos matemáticos ajustados a condiciones del trópico, donde estimaron la emisión de metano por fermentación entérica en bovinos, consumo de alimento, calidad de los principales recursos forrajeros de Costa Rica e información de estimaciones de la población animal; en donde las emisiones resultantes 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 continuación, se presentan factores de emisión de gases de efecto invernadero avalados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica para ser utilizados en los inventarios de gases de efecto invernadero (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Factores de emisión de Costa Rica utilizados para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas.

<b>Cantidad por sistema de producción Kg CH<sub>4</sub>/animal/año</b>				
<b>Categoría</b>	<b>Carne</b>	<b>Leche</b>	<b>Doble Propósito</b>	<b>Otros</b>
<b>Terneros (as)</b>	19,48	20,00	16,81	
<b>Hembras en crecimiento</b>	63,61	48,69	41,91	
<b>Machos en crecimiento</b>	66,25		70,16	
<b>Hembras adultas</b>	85,80	85,00	85,67	
<b>Machos adultos</b>	111,70	111,70	111,70	
<b>Caballos</b>				18
<b>Cerdos</b>				1
<b>Otras fuentes de emisión</b>				
<b>Manejo de estiércol</b>	1	1	1	
<b>Biodigestores (Kg CH<sub>4</sub>/Kg desechos sólidos)</b>				0,002
<b>Electricidad año 2013 (Kg CO<sub>2</sub>e/kWh)</b>				0,1300
<b>Diésel (Kg CO<sub>2</sub>/litro combustible)</b>				2,69
<b>Gasolina (Kg CO<sub>2</sub>/litro combustible)</b>				2,26
<b>Pasto <i>Cynodon dactylon</i> (kg N<sub>2</sub>O/ha/año)</b>				4,94
<b>Pasto <i>Hypharrenia rufa</i> (kg N<sub>2</sub>O/ha/año)</b>				5,33
<b>Pasto <i>Ischaemum indicum</i> (kg N<sub>2</sub>O/ha/año)</b>				3,55

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2014).

## Sistemas doble propósito y su importancia

La ganadería bovina de doble propósito se caracteriza por su tendencia a la producción de carne como de leche, es un sistema de producción que basa la alimentación en el pastoreo con ayuda de insumos externos en épocas secas; utiliza animales cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*, dado a su rusticidad las hacen adaptarse a una gran variedad de climas, el ordeño se realiza de manera manual o con sistema de ordeño mecánico; la vaca generalmente es ordeñada una vez al día con el apoyo del ternero al inicio para facilitar el descenso de la leche, luego del ordeño la vaca permanece junto al ternero y por último son separados (por la mañana o por la tarde) hasta el ordeño del día siguiente. La producción de carne se sustenta por la venta de terneros destetados y vacas de desecho. La leche tiene tres destinos: como consumo, elaboración de derivados lácteos y procesamiento en empresas agroindustriales.

Para Costa Rica, según el Censo Ganadero realizado en el 2014, los sistemas de producción de doble propósito representan un 32 % del total del hato bovino nacional, así como un 22,6 % del total de fincas identificadas (**Cuadro 2**). Un estudio realizado en Costa Rica por Benavides (2012) propiamente en la cuenca media del río Jesús María, tomando como muestra a 57 productores tomados al azar y distribuidos en toda la cuenca media, encontró que del total de productores identificados un 34% de las fincas representan los sistemas de doble propósito y que junto con carne (39%) son las actividades más predominantes en la en la región. Para Costa Rica, estas actividades productivas representan una importante fuente de empleos directos e indirectos y aporta con el 31% del PIB nacional. Además, la producción bovina aporta a la provisión de los alimentos del país (MAG 2007).

**Cuadro 2.** Total de cabezas de ganado bovino y fincas ganaderas en Costa Rica.

Cabezas de ganado bovino y fincas ganaderas en Costa Rica			
<b>Cabezas de ganado</b>			1278817
<b>No. Fincas</b>			37171
Sistema de producción	Hato %	Fincas %	
Carne	42,1		27,5
Doble propósito	32		46,8
Leche	25,6		25,7

**Fuente:** (INEC 2014). VI Censo Nacional Agropecuario, Costa Rica.

La importancia de los sistemas de doble propósito está en la producción tanto de leche como de carne y su capacidad de producir con poca demanda de insumos externos, mano de obra, liquidez diaria y flexibilidad en el manejo donde se utilizan animales por lo general cruzados o adaptados a las condiciones climáticas, y alimentación a base de pastoreo que le permite al productor y al sistema subsistir a las variaciones del clima y mercado. Por estas cualidades, señalan a los sistemas de doble propósito como el sistema de producción que reúne características favorables para cumplir con la demanda creciente de productos ganaderos de manera sostenible (Marmol 2006).

### Principales fuentes de emisión en los sistemas ganaderos de doble propósito

Si se consideran las emisiones provenientes de la agricultura, la ganadería representa entre el 40 al 60% de las emisiones del sector; siendo la deforestación y los procesos fisiológicos de los animales las principales fuentes de emisión de GEI (**Cuadro 3**).

**Cuadro 3.** Fuentes principales de emisión en la huella de carbono de productos ganaderos en América Latina y el Caribe.

Actividad o proceso	tCO <sub>2</sub> e (10 <sup>9</sup> )	% del total de las emisiones de productos animal
<b>Deforestación (CO<sub>2</sub>)</b>	2.4	34
<b>Fermentación entérica (CH<sub>4</sub>)</b>	1.8	25
<b>Residuos sólidos y líquidos (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O respectivamente)</b>	0.37 y 1.92	5.2 y 24.3

**Fuente:** Adaptación tabla 3.12, *Livestock's role climate change* 2006, FAO

Nota: emisiones en billones de toneladas (10<sup>9</sup> tCO<sub>2</sub>e)

### Cuantificación de GEI

La cuantificación de GEI se centra en modelos desarrollados a diferentes escalas: 1. Locales y 2. Globales. Se ha identificado 18 herramientas, entre las cuales destacan Ex-Ante Carbon balance Tool (EX-ACT), Cool Farm Tool (CFT) entre las más utilizadas a nivel global, entre otras.

Estas herramientas están categorizadas según los siguientes criterios mencionados por (Colomb *et al.* 2012):

- Región: Cobertura geográfica considerada por la herramienta.
- Objetivo del análisis: la herramienta puede ser utilizada para diferentes objetivos, los cuales están mencionados más adelante.
- Tiempo y facilidad de uso: Existen diferencias significativas en el tiempo y las habilidades necesarias para las diferentes herramientas. Algunas son muy fáciles de usar y se necesita poco tiempo para recopilar los datos necesarios; mientras que otros requieren mucho más tiempo y habilidades. Es difícil dar una estimación precisa del tiempo necesario para cada herramienta; ya que es muy dependiente del nivel de precisión, fiabilidad y la disponibilidad de los datos para cada evaluación. Ambas habilidades agronomía / forestales y conocimientos de informática están obligados a utilizar las herramientas.
- Alcance de la evaluación:
  - Por actividad: aquí se refieren al sistema de producción principal al que se va a realizar la estimación de GEI.
  - Por fuente de emisión: herramientas que consideran la estimación de una o varias fuentes de GEI.

Cómo escoger su herramienta de medición de GEI en 4 etapas según (Colomb *et al.* 2012):

1. Definir el objetivo principal de su evaluación e identificar el grupo de herramientas más adecuado.
2. Definir su zona geográfica y comprobar las herramientas específicas que están disponibles (**Cuadro 4**).

**Cuadro 4.** Clasificación de las calculadoras según sus objetivos y zona geográfica.

Objetivo del Usuario		Herramientas y Zona Geográfica
<b>Sensibilización</b>		Carbon Calculator for New Zealand Agriculture and Horticulture (NZ), Cplan v0 (UK), Farming Enterprise GHG Calculator (AUS), US cropland GHG calculator (USA)
<b>Informes</b>	Nivel territorial	ALU (Mundial), Climagri (FR), FullCam (AUS), CALM (UK); CFF Carbon Calculator (UK); Dia'terre® (FR), IFSC (USA)
	Nivel de explotación	
<b>Evaluación de proyectos</b>	Enfocado en mercados de carbono	Carbon Farming Tool (NZ), Farmgas (AUS), Forest tool: TARAM (mundial), CO2 fix (mundial)
	No enfocado en mercados de carbono	CAR livestock tolos (USA), CBP (mundial), EX-ACT (mundial); Holos (CAN), US AID FCC (países en desarrollo)
<b>Herramientas orientadas a mercados y productos</b>		Cool Farm Tool (mundial), Dia'terre® (FR), Programas ACV y bases de datos asociadas (SimaPro, ecoinvent, LCA food, etc: principalmente para países occidentales)

AUS: Australia; CAN: Canadá; FR: Francia; NZ: Nueva Zelanda; UK: Reino Unido, USA: Estados Unidos; FullCam: Herramienta utilizada en Australia para realizar inventarios nacionales. Solo contabiliza el carbono, no los flujos de N<sub>2</sub>O o de CH<sub>4</sub>. Se trata de una herramienta territorial, con alto nivel de precisión y combinando extensas bases de datos con modelos biofísicos.

**Fuente:** (Colomb *et al.* 2012)

3. Comprobar que los parámetros considerados por la herramienta (bosque, suelo, cambio de usos del suelo, etc.) está adaptado a sus objetivos, para esto pueden observar las tablas que se encuentran en el anexo. Si la herramienta local no está adaptada, hay que escoger entre herramientas de mayor ámbito geográfico.
4. Considerar el tiempo disponible y su capacidad técnica según el **Cuadro 5**.

**Cuadro 5.** Capacidades para la manipulación de las diferentes herramientas.

Herramientas	Capacidades requeridas para usar la calculadora
AFD calculator	+
ALU	++++
CALM	++
Carbon benefit project CPB	+++
Carbon Calculator for NZ Agriculture and Horticulture	+
Carbon Farming Group Calculator	+
CFF Carbon Calculator	+++
Climagri®	++++
CoolFarmTool	++
CPLAN v2	++
Dia'terre®	++++
EX-ACT	++
FarmGAS	+++
Farming Enterprise Calculator	+
FullCAM	++++
Holos	++
IFSC	+++
USAID FCC	++

Legenda: + a ++++; (Manejo de la herramienta), menor cantidad de signos (fácil de manejar), mayor cantidad de signos (difícil de manejar)

**Fuente:** (Colomb *et al.* 2012)

Esta metodología es una forma de cómo se puede seleccionar una herramienta que se adapte mejor a los objetivos del investigador y algo muy importante que también tome en cuenta las condiciones que presente el área de estudio.

### **Herramientas utilizadas en la cuantificación de gases**

#### **Ex – ante Carbon balance Tool (EX – ACT):**

La herramienta de cálculo ex-ante del balance de carbono (EX-ACT) es una herramienta desarrollada por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Su objetivo es proporcionar estimaciones ex-ante sobre el impacto de la mitigación de proyectos de desarrollo agrícolas o forestales, estimando el balance de carbono (C) neto

proveniente de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de la secuestro de C. EX-ACT es un sistema basado en el terreno de contabilización, el cual mide las existencias de C, los cambios en las existencias por unidad de terreno, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O expresadas en t CO<sub>2</sub>e por hectárea y por año.

El resultado principal de la herramienta es una estimación del balance-C, el cual está asociado a la adopción de opciones de gestión de tierra alternativas, comparándolas con un escenario como de costumbre. *EX-ACT* ha sido desarrollada utilizando principalmente las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, complementadas con otras metodologías existentes y revisiones de coeficientes por defecto siempre que hayan existido.

Los valores por defecto para las opciones de mitigación en el sector agrícola provienen mayoritariamente del cuarto Informe de evaluación del IPCC (2007). Por lo tanto, el *EX – ACT* permite realizar una evaluación de programas de nueva inversión, asegurando un método apropiado disponible para donantes, oficiales de planificación y diseñadores de proyectos y los tomadores de decisiones de los sectores agrícolas y forestales en países en desarrollo (Bernoux *et al.* 2012).

La herramienta también puede ayudar a identificar los impactos de mitigación entre varios proyectos de inversión, y de esta forma proporcionar un criterio adicional para ser considerado en la selección de los proyectos. Estas directrices técnicas acerca de la utilización de EX–ACT buscan brindar al usuario detalles sobre los procedimientos y los números utilizados para realizar el cálculo del balance C.

### **Cool Farm Tool (CFT):**

La herramienta CFT es una calculadora de gases de efecto invernadero en línea, la cual es gratis para los productores para ayudarlos a medir la huella de carbono de los productos agrícolas y ganaderos.

CFT fue desarrollado originalmente por Unilever y los investigadores de la Universidad de Aberdeen para ayudar a los productores de medir y comprender las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel de finca. El CFT desde entonces ha sido probado y aprobado por

una serie de empresas multinacionales que lo están usando para trabajar con sus proveedores para medir, gestionar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los esfuerzos por mitigar el cambio climático global.

Está diseñado para ser intuitivo y fácil de completar con base en la información que dispone el productor. La herramienta identifica puntos de acceso y les facilita a los agricultores probar los escenarios de gestión alternativos; además reconoce aquellos que tendrán un impacto positivo en el total de las emisiones netas de GEI; también incluye cálculos de secuestro de carbono en el suelo, que es una característica clave de la agricultura que tiene la mitigación y los beneficios de la adaptación.

### **Modelo del INTA**

Esta metodología se realizó con base en los trabajos aplicados por el INTA, se parte de la experiencia desarrollada por los investigadores Sergio Abarca y demás colegas en el manejo sostenible de fincas ganaderas, esto como parte del proyecto: *“Guía para plan, ejecución, seguimiento y monitoreo de fincas ganaderas bajas en emisiones GEI. INTA, 2013”* y del documento: *“Instructivo para el levantamiento de datos en finca para la evaluación de servicios eco-sistémicos y gases de efecto invernadero en fincas ganaderas”*.

Con este procedimiento y la hoja de cálculo asociada, se determina el balance de emisiones de GEI (se determina si es carbono neutro o permite medir el impacto de la implementación de las tecnologías NAMA). Para el cálculo de las emisiones y capturas, se seleccionan ciertos elementos a saber cómo el hato animal, los árboles y los bancos forrajeros de leñosas, el consumo de combustibles, electricidad, la digestibilidad de la dieta, entre otros.

De igual manera hay elementos como la captura de CO<sub>2</sub> en pastos y bancos forrajeros de otro tipo que no sean leñosos y la captura de CO<sub>2</sub> en el suelo que no se incluyen en este balance ya que de momento no existen suficientes elementos científicos que justifiquen su inclusión. Es un programa generado en Excel dividido en dos componentes: 1) introducción de datos generales de la finca, 2) reporte de carbono, cálculos de las diferentes fuentes de emisión: metano entérico, metano y óxido nitroso en estiércol, combustibles fósiles, electricidad y nitrógeno en pastos, así como los cálculos pertinentes para la captura de carbono en los diferentes componentes de la finca: suelo, cercas vivas, bosque, bancos

forrajeros, árboles en pasturas, etc. Este documento, por lo tanto, pretende ser una guía práctica para la intervención, toma de muestras, recolección de datos (productivos, económicos y ambientales) y seguimiento de las fincas del piloto nacional.

### **Modelo desarrollado con el Proyecto FONTAGRO**

Esta es una herramienta generada por investigadores del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), a través del Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente (GAMMA), y propuesta por el proyecto FONTAGRO, con el propósito de realizar inventarios de GEI en las diferentes zonas de vida de la región, así como del balance de carbono. Se tomó como base para la creación de esta herramienta el modelo generado por el INTA de Costa Rica, principalmente el componente de estimación por fermentación entérica y gestión del estiércol. Es aplicada a nivel de finca, se compone de varias herramientas utilizando ecuaciones generadas y validadas por IPCC (2006), siendo las más utilizadas tanto a nivel global como a nivel local.

Es un programa también generado en Excel y dividido en varios componentes: 1) introducción de datos producción lechera (metano entérico y gestión de estiércol) y 2) introducción de datos producción de carne (metano entérico y gestión de estiércol), 3) combustibles fósiles y electricidad, 4) nitrógeno en pastos así como pesticidas y 5) los cálculos pertinentes para la captura de carbono en los diferentes componentes de la finca: suelo, cercas vivas, pasturas, bosque, bancos forrajeros y árboles en pasturas. Cabe resaltar que esta herramienta se encuentra en una versión 1, por lo que se seguirá trabajando en la herramienta para realizar proyecciones de las emisiones, así como variables que reflejen mejor la parte socioeconómica. Además de tener la ventaja de realizar la estimación de GEI en determinado grupo de fincas.

### **IMN Costa Rica**

El Instituto Meteorológico Nacional es la entidad encargada de la elaboración de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. La metodología utilizada para la elaboración del inventario se basó en las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Los cálculos de las emisiones de GEI se realizaron para las cuatro categorías de emisión definidas por el IPCC: energía; procesos

industriales y uso de productos; agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; y desechos; para la cual, a través de investigaciones realizadas en el país, lograron generar sus propios factores de emisión que son utilizados a nivel nacional. Las emisiones se contabilizan por cada GEI y también en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO2 eq.), con el fin de poder compararlas entre sí y medir la contribución de cada fuente al total nacional de emisiones.

### **Importancia del monitoreo de fincas ganaderas**

Un monitoreo es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de una empresa o programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión. También ayuda a identificar cuál es el uso más útil y eficiente de los recursos disponibles, el cual es fundamental para llegar a conclusiones objetivas con respecto a cuán exitosos pueden considerarse la implementación de nuevas tecnologías y cuándo es necesario introducir otros cambios que encaminen el sistema productivo a mejorar.

Un monitoreo de la situación del sistema productivo permite conocer a mayor detalle el desempeño económico de las fincas, además muestra en detalle el significado y la importancia de contar con información oportuna y veraz sobre el desempeño de fincas ganaderas al llevar un registro de las variables relacionadas con el manejo de la finca, la parte económica y administrativa (Villanueva 2008).

Por lo tanto, es importante llevar un monitoreo de los registros e información de las fincas, lo cual puede servir para demostrar que los esfuerzos del proyecto han tenido un impacto mensurable en los resultados esperados y que han sido implementados eficazmente; es esencial para ayudar a los productores, administradores, planificadores, implementadores y formuladores de políticas a adquirir la información y el conocimiento que necesitan para la toma de decisiones sobre las operaciones realizadas en dichos sistema de producción.

### **Análisis socioeconómico en sistemas ganaderos**

En la actualidad, la mayoría de las unidades de producción ganadera no disponen de una política dirigida a la estimación y cálculo financiero de sus resultados, lo cual constituye

una desventaja ante la competencia, dado que no cuentan con los recursos que poseen sus competidores y pierden valor en el mercado al no aprovechar en forma eficiente el personal del cual disponen.

Por ello, es indispensable que en las fincas se maneje información referente a la disponibilidad y utilización de sus recursos, los procesos técnicos y administrativos empleados para determinar las variaciones que se puedan generar en su estructura de costos y en sus niveles de productividad y rentabilidad (Rosillón *et al.* 2009), información que les permitirá conocer mejor los problemas técnicos, económicos y financieros existentes, y así tomar decisiones adecuadas al respecto.

Contrario a esto, un gran número de ganaderos maneja sus fincas con información deficiente que no permite determinar con exactitud los resultados económicos y financieros de sus negocios; por lo tanto, la toma de decisiones es contraproducente con relación con el objetivo de maximizar sus ganancias.

Así, en todo sistema agropecuario es importante llevar a cabo un análisis técnico-económico, el cual muestra paso a paso y en forma organizada el proceso productivo llevado a cabo en las fincas, ya que el productor agropecuario puede determinar los aciertos y fallas cometidos en la realización de su actividad; pues el principal objetivo de este es conocer la eficiencia en el manejo de los factores de producción, mostrando su monto y composición, y los resultados respecto a ingresos, costos y ganancia, así como también la retribución de la capacidad gerencial de los productores, de su capital y de los riesgos asumidos (Bermúdez, 1992). De esta forma es posible orientar a los productores hacia la cuantificación y la valorización de su capital disponible, y a la estimación del flujo de ingresos y costos durante cada ejercicio económico, permitiendo así aplicar los correctivos adecuados para el mejoramiento del proceso de producción y la toma de decisiones.

### **Alternativas para la mitigación de emisiones de GEI en sistemas ganaderos**

Zamora (2013) identificó tres tipos de productores en sistemas ganaderos al sur de Colombia, fincas ganaderas lecheras grandes (FGLG), fincas ganaderas lecheras medianas (FGLM) y, fincas ganaderas lecheras pequeñas (FGLP); partiendo de un análisis clúster de fincas con características socioeconómicas y biofísicas similares, realizó la cuantificación de GEI con metodologías del IPCC a dichas fincas; a partir de los resultados obtenidos,

encontró diferentes alternativas de mitigación, basadas en el mejoramiento de la alimentación con el ensilaje, picado, bloques nutricionales y manejo de estiércoles, a través de compostaje y biodigestores que pueden reducir más de la mitad de las emisiones actuales.

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 kg/CO<sub>2</sub>e/kg de grasa más proteína corregida (Beukes *et al.* 2011).

Los sistemas silvopastoriles son vistos como una de las estrategias que ayudan a reducir las emisiones por mejoras a las condiciones y la dieta animal; además con los SSP también se mejoran los sumideros de la biosfera con la conservación del recurso forestal disponible (FAO 2006).

Esto da una guía de hacia dónde se pueden encaminar los sistemas de producción de ganadería bovina, con la principal finalidad de hacerle frente a fenómenos climáticos, como los fenómenos de El Niño y de La Niña, que recientemente han causado tantos estragos en la productividad animal. Se trata de dar a conocer opciones a los productores que se puedan manejar dentro del concepto de sostenibilidad como una forma de producir de la mano con el medio ambiente, aumentando su productividad y bienestar social.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):109-116. *Fuente original*. (1) Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer FAO Forestry paper 134, Roma, Italia. (2) Snowdon, P; Raison, J; Keith, H; Montagu, K; Bi, K; Ritson, P; Grierson, P; Adams, M; Burrows, W; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office. 114 p. (National carbon accounting system technical report No. 31). Draft.
- Amézquita, MC, Ibrahim, M; Bourman, P. 2004. Carbon sequestration in pasture, Agropastoral and silvopastoral systems in the American tropical forest ecosystem. In Proc. 2nd Intl. Congress in Agroforestry Systems, Mérida, México, February 2004. p. 61-72.
- Benavides, M. 2012. Evaluación del impacto socioeconómico de pasturas degradadas en fincas ganaderas de la cuenca media del río Jesús María, Costa Rica. (en línea). Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 13-09-13. Disponible en: <http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/handle/123456789/80>
- Bermúdez, A. 1992. Aspectos Administrativos de la Producción de Leche y Carne. En: Carlos González-Stagnaro (Ed.). *Ganadería Mestiza de Doble Propósito*. Maracaibo. Venezuela. Editorial Astro Data. Cap. XXVI. 554-572 pp.
- 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
- Bonilla Cárdenas, J.A.; Lemus Flores, C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(2): 215-246.
- Buza, M.H.; Holden, L.A.; White, R.A.; Ishler, V.A. 2014. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. *Journal of dairy science* 97(5): 3073-3080. Disponible en:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030214001696>  
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7622>

- Cárdenas, J. M. 2014. Balance de gases de efecto invernadero y efectividad del pago por servicios ambientales en fincas ganaderas de la península de Nicoya, Costa Rica. Tesis de maestría, Catie, Costa Rica. 90 p.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Sepúlveda, C; Ríos, N; Tobar D. 2009. Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganadera. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas. Capítulo 9. 169p
- Castellón, C. 2010. Mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura y la ganadería. Curso estrategia Valenciana ante el Cambio climático. Instituto Valenciano de Investigación agraria.: Pág. 16. Consultado 21/12/2014. Disponible en: [http://www.cma.gva.es/comunes\\_asp/documentos/agenda/cas/64799-Mitigaci%C3%B3n%20y%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20la%20agricultura%20y%20la%20ganader%C3%ADa.pdf](http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/cas/64799-Mitigaci%C3%B3n%20y%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20la%20agricultura%20y%20la%20ganader%C3%ADa.pdf)
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), The Global Mechanism (Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación). 2012. Incentivos y mecanismos basados en el mercado para el fomento de manejo sostenible de la tierra: marco e instrumento para evaluar la aplicabilidad. Roma. 78 p.
- Cederberg, 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
- Ciesla, WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Estudios FAO: Montes No. 120. 146 p.
- Colomb, V.; Bernoux, M.; Bockel, L.; Chotte, J.; Martin, S.; Martin-Phipps, C.; Mousset, J.; Tinlot, M.; Touchemoulin, O. 2012. ESTUDIO DE LAS HERRAMIENTAS GEI PARA LOS SECTORES AGRÍCOLA Y FORESTAL. FAO, ADEME, IRD.
- Colorado State University. 2010. Help Document for the Agriculture and Land Use Software Program (ALU). Version 1.10, August 2010, Natural Resource Ecology Laboratory, Fort Collins, CO, 80523 USA.
- Días-Filho, M.B. 2005. Degradação de pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação. 2da. Ed. EMBRAPA Amazonia Oriental. Belem, BR. 173 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. Consultado 09/12/2014. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- FAO, 2006. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. Roma. 493 p.
- \_\_\_\_\_. 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación: la ganadería a examen. Roma. Italia. 200 p.
- \_\_\_\_\_. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome. 139 p.
- 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.
- Harvey, C.; Villanueva, C.; Villacis, J.; Chacón, M.; Muñoz, M.; López, M.; Ibrahim, M.; Gómez, R.; Taylor, R.; Martínez, J. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. Contribution of live farm productivity and ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. **Agroforestería en las Américas (CATIE)**. (2003). v. 10(39-40) p. 30-39.
- 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.
- Ibrahim, M; Villanuevas, C.P; Casasola, F. 2007b. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rentabilidad ecológica de paisajes ganaderos en Centroamérica. XX reunión ALPA, XXX APPA-Cusco-Perú. Archivo Latinoamericano de Producción Animal. Vol. 15: 1. p. 73-87.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales / Instituto Nacional de Estadística y Censos. -- 1 ed. --San José. Costa Rica. 146 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 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.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2014. Factores de emisión de gases de efecto invernadero, San José, Costa Rica. 10 p. Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/factores-de-emision-gei-cuarta-edicion>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W.

- (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) 2001. Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Consultado 16/12/2014. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.htm](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.htm).
- \_\_\_\_\_. 2007. Cambio climático 2007. Informe y Síntesis. Consultado 09/12/2014. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- Lascano, C.E.; Cárdenas, E. 2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 175-182.
- Lemus de Jesús, G. 2008. Análisis de productividad de pasturas en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de doble propósito en Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialaba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2013. Concepto NAMA Fincas Ganaderas. San José, Costa Rica, 12 p.
- MAG-CATIE. 2010. Estudio de competitividad para la transformación de los sistemas de producción de ganadería bovina tradicional en modelos de producción sostenible en diferentes zonas agroecológicas de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.: Pág. 152.
- MIDEPLAN, M.d.P.N.y.P.E., , CR 2010. Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014. Teresa Obregón Zamora María San José, Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) – Corporación de Fomento Ganadero (CORFOGA) – Programa de Erradicación del Gusano Barrenador (PEGB). 2000. Censo Ganadero 2000.
- Mahecha, L. 2009. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2): 226-231.
- Bernoux, M; Bockel, L; Branca, G; Gorin, P; Sanz, R; Grewer, U. 2012. EX-Ante Carbon balance Tool. FAO. Consultado: 2 enero de 2015. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex\\_act/pdf/Flyer/Ex-act\\_flyer-ES\\_sept2012.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Flyer/Ex-act_flyer-ES_sept2012.pdf)
- Marmol, J. 2006. Manejo de pastos y forrajeras en la ganadería de doble propósito. X Seminario de Pastos y Forrajes. Consultado 23/12/2014. Disponible en: [http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario\\_pasto\\_X/Conferencias/A1-Jesus%20Faria%20Marmol.pdf](http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A1-Jesus%20Faria%20Marmol.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.
- 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.
- Reid, R.; Thornton, P.; McCrabb, G.; Kruska, R.; Atieno, F.; Jones, P. 2004. Is it possible mitigating greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? Environmental, Development and Sustainability. Environmental, Development and Sustainability (6): Pág. 91-109.
- Rosillón, M., Urdaneta, F., y Casanova, A. 2009. Comportamiento económico y financiero de sistemas de ganadería de doble propósito (Taurus - Indicus). Rev. Cient. vol.19, n.4 pp. 356-365. ISSN 0798-2259. En línea, consultado el 28 enero de 2015. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592009000400007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592009000400007&lng=es&nrm=iso)
- Steinfeld, H.; Wassenaar, T.; Jutzi, S. 2006. Livestock production systems in developing countries: status, drivers, trends. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz 25(2): 505-516.
- Veldkamp; Keller, Núñez, 1998. Effects of pasture management on N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils in the humid tropics of Costa Rica. Global Biogeochemical Cycles, VOL. 12, No. 1, pp. 71-79.
- Vellinga, T. 2008. Las emisiones de gases de efecto invernadero en las granjas lecheras. Sustainable dairy farming. Consultado 22/12/2014. Disponible en: [editor@sustainabledairyfarming.com](mailto:editor@sustainabledairyfarming.com)
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Torres, K; Torres, M. 2008. Planificación agroecológica de fincas ganaderas: la experiencia de la subcuenca Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica. Informe técnico / CATIE: no.365. 36 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.
- Villegas, M. 2013. Costa Rica: la política de estado para el sector agroalimentario y el desarrollo rural costarricense 2010-2021 En: Políticas para la agricultura en

- América Latina y el Caribe: competitividad, sostenibilidad e inclusión social. Santiago: CEPAL, 2013. p. 35-39. LC/L. 3646.
- White, R. 2006. Principles and practice of soil science. The soils as a natural resource. 4th ed. Oxford, UK, Blackwell Publishing. 212 p.
- Zamora, H. 2013. Alternativas para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas lecheras andinas del departamento de Nariño. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

# **CAPÍTULO I: ANALIZAR HERRAMIENTAS PARA LA ESTIMACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SU POTENCIAL DE USO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE DOBLE PROPÓSITO EN EL TRÓPICO SUBHÚMEDO DE COSTA RICA**

Vega A. <sup>1\*</sup>, Tobar D. <sup>1</sup>, Sepúlveda CJ. <sup>1</sup>, Villanueva C. <sup>1</sup>, Abarca S. <sup>2</sup>

1 CATIE, Costa Rica

2 INTA, Costa Rica

(\*Autor para correspondencia: e-mail: andres.vega@catie.ac.cr)

## **RESUMEN**

En este estudio, se analizaron 5 herramientas de cálculo de GEI (Cool Farm Tool, EX – ACT, Modelo INTA, Modelo FONTAGRO y IMN), con el fin de comparar estas herramientas para ver cuál de ellas puede ser más apropiada para utilizar en la región. Para esto, se identificaron las variables que utiliza cada herramienta para las estimaciones de GEI, separadas en cuatro ámbitos: ámbito geográfico (área de aplicación y características edafoclimáticas de la región), variables asociadas a las emisiones (categorías y características de los animales, estrategias de alimentación, pasturas, producción y costos), emisiones de GEI consideradas (emisiones por fermentación entérica, gestión del estiércol, fertilización, combustibles fósiles, electricidad y abonos orgánicos incorporados) y productos resultantes de las distintas herramientas (emisiones por producto, por área y gráficos de los resultados); un total de 18 variables empleadas para el cálculo de las emisiones en fincas ganaderas.

Apreciando que las estimaciones de GEI con valores más bajos o más conservadores fueron las herramientas generadas a nivel local, esta diferencia se relaciona con que las herramientas EX - ACT y Cool Farm Tool emplean fórmulas del IPCC con un alcance 1 (TIER 1); mientras que las generadas a nivel nacional tienen un alcance 1 y 2 (TIER 1 y 2). Posteriormente, estas variables fueron validadas con expertos, donde las herramientas locales fueron las que tuvieron mayor aceptación, debido a que sus estimaciones proponían variables que contribuyen a mejorar los cálculos de emisiones principalmente en la

separación de categorías para las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica y gestión del estiércol; mientras que las globales no presentan esta distinción, lo cual puede generar mayor incertidumbre para los análisis de GEI.

## **SUMMARY**

In this study 5 essential tools for calculating GHG (Cool Farm Tool, EX - ACT Model INTA, Model FONTAGRO and IMN) were analyzed in order to compare these tools to see which of them may be more appropriate for use in the region. geographical area (area of application and soil and climatic characteristics of the region), variables associated with emissions (categories and characteristics of animals, strategies: For this the variables used by each tool for GHG estimates, separated into four areas identified food, pasture, production and costs), GHG emissions considered (emissions from enteric fermentation, manure management, fertilizer, fossil fuel, electricity and organic fertilizer incorporated) and products resulting from the various tools (emissions per product, per area and graphics results), a total of 18 variables used to calculate emissions on cattle farms, appreciating that estimates of GHG with lower values or conservative were the tools generated locally, this difference is related to tools EX - ACT and Cool Farm Tool IPCC formulas used with scope 1 (tIER 1) while nationally generated has a scope 1 and 2 (tIER 1 and 2). Subsequently, these variables were validated with experts, where local tools were those that had greater acceptance, because their estimates proposed variables that contribute to improve emission estimates mainly on the separation of categories for methane emissions from enteric fermentation and manure management, while global not have this distinction, which can generate more uncertainty for GHG analysis.

## INTRODUCCIÓN

Recientes estudios indican que el cambio climático tendrá cada vez más incidencia en la vida sobre el planeta (Oyhantçabal *et al.* 2010). Aumentarán las temperaturas medias; se afectará el régimen de lluvias; y los eventos climáticos extremos como tormentas, inundaciones, sequías y olas de calor se incrementarán en frecuencia e intensidad (IPCC 2007). En este sentido, las actividades de producción animal como la actividades ganaderas se verán especialmente afectadas por el cambio climático, por ser muy dependientes del clima (Oyhantçabal *et al.* 2010).

El aumento en la temperatura ha provocado efectos como la disminución del agua en el suelo, ocasionando muerte del ganado, daños a los cultivos, disminución de la productividad de cultivos importantes en agricultura y ganadería; lo que provoca la expansión del área agrícola con el fin de aumentar ingresos, afectando consigo la disminución de los bosques, entre otros. Por otro lado, se ha presentado un incremento considerable de las emisiones de GEI como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y es muy probable que las concentraciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedan principalmente de la agricultura y la ganadería.

Para cumplir con los objetivos globales y nacionales de reducción de emisiones y al mismo tiempo garantizar la seguridad alimentaria, los sectores agrícola y forestal tienen que tener en consideración este nuevo contexto. Paralelamente a los avances metodológicos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se han desarrollado en los últimos años numerosas herramientas para la evaluación del balance de GEI para actividades agrícolas y forestales.

El IPCC es un grupo internacional de científicos encargados de compilar y sintetizar todos los estudios relacionados con el cambio climático, este ente organiza la contabilidad de GEI mediante tres aproximaciones, llamadas “Tiers” o “niveles”. Tiers 1 tiene un enfoque global, con factores de emisión medios correspondientes a grandes ecorregiones del mundo. Tiers 2 es similar, pero utiliza datos a nivel de región o de estado, de manera que considera con mayor precisión los factores de emisión. Por último, Tiers 3 tiene una dirección mucho más detallada y suele incluir aspectos de modelización biofísica de los

procesos relacionados con los GEI. Estos modelos solo están disponibles para unas pocas fuentes de emisión y para escasas áreas del mundo (Colomb *et al.* 2012)

En la actualidad existen más de 30 herramientas para la cuantificación de GEI. Cerca de 45 guías y protocolos y 25 distintos modelos de aplicación para cuantificación de GEI en actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Deneff *et al.* (2012) clasifican estas herramientas en: calculadoras, protocolos, guías de buenas prácticas y modelos. La primera parte de este estudio se centra en las herramientas, es decir, programas basados en cálculos *online*, en MS Excel® u otros formatos digitales que permitan cuantificar el balance de GEI de actividades agrícolas, forestales y pecuarias. Estas herramientas tienen un nivel de complejidad limitado y deben ser consideradas como herramientas de apoyo a la toma de decisiones políticas o de gestión de proyectos, a diferencia de los modelos, que son más complejos y están destinados a trabajos de investigación.

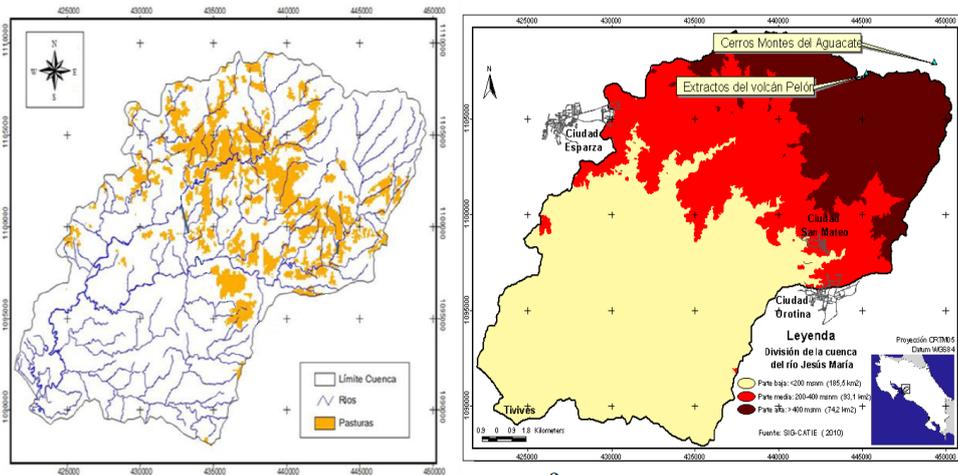
La Agencia del Medio Ambiente y de la Gestión de la Energía (ADEME), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) decidieron realizar un estudio de estas calculadoras (18 en total); las cuales fueron debidamente validadas de acuerdo con criterios dados por el IPCC a los autores de cada herramienta, esto con el objetivo de facilitar a los usuarios la elección de la herramienta más adaptada a sus necesidades, así como resaltar las principales diferencias metodológicas existentes entre las herramientas (Colomb *et al.* 2012).

El presente estudio identificó y comparó las herramientas actuales para la estimación de gases de efecto invernadero y el potencial uso para la cuantificación de emisiones en sistemas de producción de doble propósito en el trópico subhúmedo, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de investigación

El estudio se realizó en la cuenca del río Jesús María, la cual posee una superficie aproximada de 352,8 km<sup>2</sup> y una proyección estimada de pasturas de 3.470 hectáreas, comprende los cantones de Esparza y Montes de Oro de la provincia de Puntarenas; además de San Mateo, Jesús María, Labrador, San Ramón, entre otras de la provincia de Alajuela. Se sitúa entre las coordenadas 84° 34 ' 48 ' W y 9° 57 ' 36 ' N y alturas comprendidas entre 170 msnm y 850 msnm.



**Figura 5.** Distribución de pasturas y división de la cuenca media del río Jesús María configuración topográfica y desnivel predominante.

**Fuente:** SIG-CATIE 2010.

Este estudio se ejecutó en tres etapas. Durante la primera etapa, se realizó una revisión bibliográfica de las distintas herramientas creadas por diferentes instituciones a nivel mundial para la estimación de GEI emitidos en los diferentes sistemas productivos, tanto en actividades agrícolas como forestales. Muchas de estas herramientas están centradas en un producto concreto (leche, carne, cereales, madera, etc.), mientras que solo algunas tienen en cuenta varios subsectores de manera transversal (cultivos, ganadería, bosques, cambio de usos del suelo, deforestación, etc.) y tienen un enfoque territorial (Colomb *et al.* 2012).

Se identificó un total de 7 herramientas, basadas en una revisión bibliográfica; las cuales son muy utilizadas a nivel global para la estimación de las emisiones y se encuentran validadas por el IPCC (**Cuadro 6**). Se seleccionó un total de 2 herramientas, las cuales son las más empleadas para el trópico; pues se trabajó con las herramientas de fácil acceso, gratuitas (*software libre*) y que realizan estimaciones para el sector ganadero.

**Cuadro 6.** Herramientas para la estimación de GEI y sus desarrolladores.

<b>Herramienta</b>	<b>Organización</b>	<b>Desarrolladores</b>
<b>EX-ACT</b>	FAO	Martial Bernoux, Louis Bockel
<b>Cool Farm Tool</b>	Unilever Sustainable Agriculture, Sustainable Food Lab (Cool Farm Alliance), University of Aberdeen	Jon Hillier (Aberdeen)
<b>ALU</b>	Colorado State University	Stephen Ogle
<b>Carbon benefits project (CBP)</b>	GEF, Colorado State University	Eleanor Milne, Mark Easter
<b>LIFESIM</b>	Centro Internacional de la Papa (CIP)	Carlos León-Velarde, Raúl Cañas Cruchuga, Roberto Quiroz Guerra, José Guerrero
<b>Modelo INTA</b>	INTA, Costa Rica.	Sergio Abarca <i>et al.</i> 2014
<b>Modelo FONTAGRO</b>	(CATIE)	Tobar y Vega ( <i>en preparación</i> )
<b>IMN Costa Rica</b>	IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

A partir de la lista de herramientas validadas por el IPCC, se seleccionaron dos de las más utilizadas a nivel global y dos metodologías generadas en Costa Rica por parte de investigadores del INTA para balances de GEI en fincas ganaderas, otra herramienta desarrollada por el proyecto FONTAGRO y el IMN Costa Rica (**Cuadro 7**).

**Cuadro 7.** Herramientas para la cuantificación de GEI y sus desarrolladores.

Herramienta	Desarrolladores	Organización	Correo electrónico
<b>Cool Farm Tool (CFT) v 2.0 beta3</b>	(Jon Hillier 2012)	University of Aberdeen	<a href="mailto:j.hillier@abdn.ac.uk">j.hillier@abdn.ac.uk</a>
<b>EX-ACT v 3.0</b>	(Bernoux <i>et al.</i> 2010)	FAO	<a href="mailto:EX-ACT@fao.org">EX-ACT@fao.org</a> , <a href="mailto:martial.bernoux@ird.fr">martial.bernoux@ird.fr</a> , <a href="mailto:louis.bockel@fao.org">louis.bockel@fao.org</a>
<b>Modelo INTA</b>	(Abarca 2014)	INTA, Costa Rica.	<a href="mailto:sabarca@inta.go.cr">sabarca@inta.go.cr</a>
<b>Modelo FONTAGRO</b>	Tobar y Vega (en preparación)	(CATIE)	<a href="mailto:dtobar@catie.ac.cr">dtobar@catie.ac.cr</a> ; <a href="mailto:andres.vega@catie.ac.cr">andres.vega@catie.ac.cr</a>
<b>IMN Costa Rica</b>	IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica	<a href="http://cglobal.imn.ac.cr/">http://cglobal.imn.ac.cr/</a>

Se realizó un análisis de las variables que más inciden en la estimación de GEI de fincas ganaderas, las cuales fueron empleadas para la comparación de los modelos a través de cuatro aspectos: ámbito geográfico, variables asociadas a las emisiones, emisiones de GEI consideradas y productos resultantes de las distintas herramientas (**Cuadro 8**). Esto permitió observar las variables que consideraron cada uno de los modelos para su selección.

**Cuadro 8.** Variables tomadas en cuenta por el presente estudio para la estimación de GEI.

	Variables	Descripción	Unidad de medida
<b>Ámbito geográfico</b>	Área geográfica	Toma en cuenta las emisiones generadas a nivel de explotación o finca	Región
	Clima	Parámetros climáticos, rangos promedio de la temperatura, la humedad, precipitación y humedad relativa del área de estudio, etc.	°C Mn %HR
	Suelo	Toma en cuenta la topografía del área, así como el tipo de suelo	COS % pH Tipo de suelo Área (ha)

<b>VARIABLES ASOCIADAS A LAS EMISIONES</b>	Producción lechera (bovinos)	Producción de leche producida en la finca	Kg /animal/año
	Categorías y características de los animales	Especificaciones en cuanto las diferentes categorías de hatos y características de los animales (genética, condición corporal, peso vivo, etc.), utilizado por los productores en sus sistemas de producción	Categoría del hato Raza Condición corporal PV (kg)
	Pasturas	Características de los pastos, así como sus características nutricionales	Tipo de pasto
	Estrategias de alimentación	Tipos de dietas que manejan los productores, así como sus características nutricionales	(%DIVMS) (%PC) (%FDN) (kcal/kg MS)
	Costos de producción	Costos de producción generados por las diferentes actividades realizadas en la finca	Costo producción/kg producto
<b>EMISIONES DE GEI CONSIDERADAS POR LAS HERRAMIENTAS</b>	CO <sub>2</sub> proveniente de electricidad	Electricidad consumida por el productor para la elaboración del producto comercializado	t CO <sub>2</sub> /kWh
	CO <sub>2</sub> proveniente del transporte	Uso del transporte dentro y fuera de la finca de los insumos utilizados	t CO <sub>2</sub> /L combustible
	Emisiones de CH <sub>4</sub> entérico	Toma en cuenta la alimentación dada al bovino, así como su peso vivo para estimar la emisión de este gas	t CH <sub>4</sub> /animal/año
	Emisiones de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O gestión de estiércol	Se refiere a las emisiones de óxido nitroso generados por los residuos provenientes de los animales a través de purines y estiércol	t CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O / t desechos sólidos
	Emisiones de fertilizantes N <sub>2</sub> O	Se refiere a las emisiones generadas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados u otros en las pasturas, bancos forrajeros, así como en cultivos forrajeros que se encuentran dentro de la finca	t N <sub>2</sub> O /ha/año
	Emisiones incorporadas por abonos	Se refiere a la cantidad de estiércol producido y utilizado para compost u otro uso dentro de las fincas	t N <sub>2</sub> O /ha/año

<b>Productos resultantes de la estimación de GEI de las distintas herramientas</b>	GEI/ha	Se refiere al total de emisiones de GEI generados por los bovinos en un área determinada	t CO <sub>2</sub> e/ha
	GEI/producto	Se refiere al total de emisiones de GEI generadas durante el proceso de desarrollo y final del producto a comercializar (Intensificación de emisiones)	kg CO <sub>2</sub> e/kg producto
	Resultados en imágenes	Presentación de forma gráfica (síntesis de resultados)	Gráfico

### Selección y validación del modelo

La estimación de las emisiones se hizo en función de estudios de caso para poder analizar la tendencia de las fincas. Tomando tres fincas aleatorias, una por cada grupo identificado, las cuales se seleccionaron mediante un dendrograma de conglomerados jerárquicos con el método Ward para separar la muestra de 17 productores en tres grupos, y la distancia se obtuvo a partir de la similaridad de Euclidea al tener variables cuantitativas. Para obtener los grupos, se tomaron en cuenta las variables de área total (has), carga animal (UA/ha), producción (leche kg/finca/año) y total de unidades animales (UA) por finca, los análisis fueron realizados y estandarizados en InfoStat (Di Rienzo J. A. *et al.* 2008).

Se tomó una muestra por cada grupo (estudio de caso) y se estimaron las emisiones con las distintas herramientas, luego se compararon los resultados de las emisiones obtenidas por cada modelo empleado con el objetivo de observar las diferencias entre resultados de un modelo a otro, y así presentar en el taller de expertos las diferencias en cuanto a los resultados de cada modelo, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

La comparación de la información fue presentada en un taller de validación con un grupo focal conformado por expertos en investigación de cambio climático de diferentes instituciones público-privadas (CATIE, INTA, CORFOGA, MAG), con el fin de identificar la herramienta de cálculo más apropiada en la región, basada en las variables halladas para el análisis de GEI en fincas ganaderas. La evaluación consideró los siguientes parámetros:

- a) **Ámbito geográfico considerado** (herramientas aplicadas a nivel mundial o a nivel de finca),
- b) **Facilidad de uso** (complejidad de la herramienta),
- c) **Nivel del usuario** (requiere experiencia en el manejo de computadores (programa Excel u otros, versiones según usuario (Productor, técnico, profesional) ,
- d) **Nivel de información** (información cuantitativa y precisa, además de ser de fácil acceso),
- e) **Resultados de inventarios y balances de GEI**, que se obtengan las emisiones por fuentes de emisión (t), emisiones en t CO<sub>2</sub>e totales/finca/año, área y producto y gráficos de los resultados.

## **Análisis de las emisiones**

### **Selección de fincas**

Se tomaron en cuenta a 17 productores de la base de datos generada por el proyecto Diseño de sistemas silvopastoriles como estrategia para la adaptación y mitigación al cambio climático de sistemas ganaderos del trópico centroamericano – FONTAGRO, 2012-2013 en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

En la base de datos, se seleccionaron las variables relevantes para los cálculos de GEI en fincas ganaderas como área geográfica (ámbito geográfico aplicado, clima, suelo), área (has) de usos de suelo presentes en las fincas, variables asociadas a las emisiones (producción lechera, características del bovino, cantidad de animales, carga animal (UA/ha), pasturas utilizadas y estrategias de alimentación, así como sus características nutricionales (porcentaje de digestibilidad, proteína cruda, fibra detergente neutro, grasa de la leche y energía metabolizable de los suplementos), kg de materia seca consumida por animal, costos de producción, energía eléctrica utilizada en la finca (KWh/mes), kg de fertilizante y estiércol aplicado en los diferentes usos de suelo, combustible (L/mes) utilizado dentro y fuera de la finca como el diésel y gasolina, cantidad de leña consumida por el productor para quema, entre otras constantes utilizadas por la herramienta para la estimación de las emisiones (% digestibilidad ingesta, Ym, factores de emisión del país). Los datos recolectados fueron organizados y analizados en una base de datos, representando la información de las fincas para el período 2015.

Para las estimaciones de GEI, se consideró la finca como unidad de medida tomando en cuenta los criterios definidos, así como todas las variables consideradas por el presente estudio (**Cuadro 8**).

Se contemplaron las emisiones en dos fases, los procesos dentro y fuera de las fincas:

1. Dentro de la finca: se incluyen las emisiones producidas por los animales en los procesos digestivos, manejo de estiércol, utilización de fertilizantes y de combustible fósil para suplir agua o procesos de preparación de suplemento.
2. Fuera de la finca: se contemplan las emisiones por quema de combustible fósil por adquisición de insumos, transporte de jornales, comercialización de la leche cruda y las emisiones por procesos productivos en la fabricación de insumos para la finca (gas, quema de leña), así como la venta del producto principal de comercialización.

### **Límites del trabajo**

Se incluyeron los temas de entradas y salidas de la finca, debido a que estas son controladas por el productor, así como aspectos de las demás emisiones generadas en el sistema; de modo que, para el análisis de las emisiones, se trabajó con dos de las aproximaciones generadas por el (IPCC 2006) para la contabilización de las emisiones de GEI, el “Tiers 1” y el Tiers 2”. Adicionalmente se contemplaron los factores de emisión generados en el país (IMN 2014) (**Cuadro 9**), esto para poder evidenciar si los resultados obtenidos con estos factores propuestos por el país son similares o no a los obtenidos por las diferentes herramientas evaluadas en el presente estudio.

Principales emisiones consideradas del **Alcance 1**:

- Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del transporte de insumos (fertilizantes, herbicidas, diésel para maquinaria, concentrados y medicinas).
- Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la utilización de combustibles fósiles para el funcionamiento de maquinarias dentro de la finca.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la utilización de la energía eléctrica.

- Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de la aplicación de fertilizantes sintéticos en pasturas y bancos de forraje, pesticidas, así como cultivos generados dentro de la finca.
- Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de residuos sólidos y líquidos.

Principales emisiones consideradas del **Alcance 2**:

- Emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de la fermentación entérica.
- Emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo de residuos sólidos y líquidos.

**Cuadro 9.** Fuentes de emisión identificadas en la actividad ganadera

Actividades	GEI emitido	Unidades	Factor de emisión	Fuente	
<b>Fermentación entérica (bovinos)</b>	CH <sub>4</sub>	kg CH <sub>4</sub> /animal/año	16,81	(IMN 2014)	
			Hembras en crecimiento		41,91
			Machos en crecimiento		70,16
			Hembras adultas		85,67
			Machos adultos		111,70
			Caballos		18
<b>Gestión del estiércol</b>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N kg CH <sub>4</sub> -N/kg N	1.57	(IPCC, 2006)	
<b>Fertilización</b>	N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O/ha/año	1		
<b>Electricidad (año 2013)</b>	CO <sub>2</sub>	t CO <sub>2</sub> /kWh	0.1300		
<b>Transporte</b>	CO <sub>2</sub> Diésel		2.26	(IMN 2014)	
	CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /L	2.69		
	Gasolina				

Los factores de emisión antes mencionados indican el valor de contaminación expresado en t de CO<sub>2</sub>e para el sector energía, industria, agricultura y desechos. El sector de agricultura incluye la ganadería, clasificada en sistemas de producción (leche, carne, doble propósito) y por categoría de animales (Montenegro y Abarca 2001).

Para la estimación de las emisiones, se deben de tomar en cuenta las principales fuentes de emisión de GEI que se pueden encontrar en los sistemas ganaderos (**Cuadro 10**), así como los parámetros requeridos para el cálculo de las emisiones, los cuales se mencionan a continuación.

**Cuadro 10.** Parámetros requeridos para la estimación de GEI.

<b>Parámetros</b>
Composición del hato (estado fisiológico y producción)
Consumo y calidad nutritiva de los alimentos
Combustibles
Electricidad
Fertilización
Excretas

## SUPUESTOS

- Todos los animales pastorean por igual en todos los sistemas de uso de la tierra en cada finca.
- Durante el período de lactancia, se destina un cuarto de la ubre para el ternero.
- La dinámica de ventas de ganado de la finca (terneros y animales de descarte) es constante cada año.
- Las emisiones generadas por kilogramo de producto (leche y carne) provienen de la dinámica de las ventas.
- El hato varía durante la época, por lo que se toma en cuenta el inventario de cada época.
- El hato no varía durante el año, por lo que se considera la composición del hato en el momento de realizar la entrevista.
- Una unidad animal corresponde a 450 kg.
- El análisis de GEI empieza en la producción ganadera en la finca y finaliza en la producción de carne y leche dentro de la finca.
- En los cambios de uso del suelo, no se están modificando las características de los hatos, manejo y variables de producción de las fincas.

- La ganancia de peso vivo por cada categoría se estimó en información previa desarrollada para la zona de estudio.
- Los resultados generados en el presente informe corresponden específicamente a los estimados para las fincas estudiadas por el proyecto FONTAGRO.
- Las emisiones fueron expresadas en t CO<sub>2e</sub>/año y t CO<sub>2e</sub>/ha/año como unidad utilizada en los inventarios de GEI (IPCC 2007).
- Los niveles de potencial de calentamiento (horizonte 100 años) corresponden a los recomendados por el IPCC que fueron CO<sub>2</sub>=1, CH<sub>4</sub>=21 y N<sub>2</sub>O= 310.
- Los datos de digestibilidad de proteína cruda fueron obtenidos del trabajo de Peters *et al.* (2011) y Sánchez (2008), además de datos proporcionados por las cooperativas de leche en la región.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basado en la revisión bibliográfica de los diferentes modelos seleccionados para la estimación de gases de efecto invernadero, se generó un resumen de las características que consideran cada una de las herramientas de cálculo de GEI (**Cuadro 11**). Cada herramienta presenta objetivos diferentes, por ejemplo, la herramienta EX – ACT está orientada a la evaluación de proyectos; estima las emisiones de un sistema antes y después de haberse aplicado un proyecto, a excepción de los modelos realizados en Costa Rica, generados solo para inventarios y balances de GEI; las herramientas EX – ACT y Cool Farm Tool comprenden ámbitos más amplios, por lo que son aplicadas a nivel mundial; mientras que las otras dos herramientas comprenden un menor rango de aplicación, siendo empleadas a nivel de finca; todas las herramientas trabajan de acuerdo con las ecuaciones generadas por el IPCC 2006 para los inventarios de GEI.

**Cuadro 11.** Características de las herramientas empleadas para la medición de GEI.

<b>MODELO</b>					
<b>Características</b>	<b>EX - ACT</b>	<b>Cool Farm Tool</b>	<b>Modelo INTA</b>	<b>Modelo FONTAGRO</b>	<b>IMN</b>
<b>Objetivo</b>	Orientada a evaluación de proyectos	Orientada a mercados y productos	Inventarios y balances de GEI	Inventarios y balances de GEI	Inventarios de GEI
<b>Ámbito de aplicación</b>	Mundial	Mundial	País	País	País
<b>Ecuaciones</b>	(IPCC 2006)	(IPCC 2006)	(IPCC 2006)	(IPCC 2006)	(IPCC 2006)
<b>Factores de emisión</b>	(IPCC 2006)	(IPCC 2006)	Factores según país	Factores según país	Factores según país
<b>Niveles</b>	Tier 1 y 2	Tier 1 y 2	Tier 1 y 2	Tier 1 y 2	Tier 1 y 2
<b>Formato</b>	(Excel)	(Excel)	(Excel)	(Excel)	NA
<b>Fuentes de emisión estimadas</b>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , HFC, PFC, SF <sub>6</sub>
<b>Emisiones resultantes</b>	En t/año CO <sub>2</sub> e total y	En kg CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> y en kg CO <sub>2</sub> e total, por área y producto	En t/año CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , y t/año CO <sub>2</sub> e total	En t/año CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> y en t/año CO <sub>2</sub> e total, producto y área	En t/año CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> y en t/año CO <sub>2</sub> e total
<b>Otras características</b>	Permite realizar proyecciones a futuro	-	-	Permite estimar las emisiones de más de una finca a la vez	-

Todas las herramientas empleadas utilizan los factores de emisión generados por IPCC; no obstante, los modelos INTA, FONTAGRO aparte de tomar en cuenta estos factores también pueden considerar los factores generados por el país (IMN 2014). Las herramientas de Cool Farm Tool y EX – ACT estiman las emisiones de acuerdo con las ecuaciones propuestas por el IPCC; emplean por defecto los factores de emisión propuestos

por IPCC utilizando Tier 1, el cual tiene un enfoque global, con factores de emisión medios correspondientes a grandes ecorregiones del mundo, mientras que las otras dos herramientas Modelo FONTAGRO, Modelo INTA y el IMN Costa Rica están desarrolladas con factores de emisión a nivel de país (TIER 2), tomando en cuenta los factores de emisión generados por el país para una mayor precisión en la estimación de las emisiones.

Los modelos presentan algunas diferencias en cuanto a los resultados generados por cada herramienta; por ejemplo, la herramienta EX –ACT solo presenta resultados en t de CO<sub>2</sub>e total al igual que el IMN Costa Rica; mientras que el Modelo FONTAGRO muestra resultados en t por fuente de emisión (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>), así como t de CO<sub>2</sub>e por fuente de emisión, también muestra resultados de emisiones generadas por área y por producto, datos que son importantes a la hora de toma de decisiones u otros que mejoren la eficiencia del sistema productivo.

### **Variables consideradas por las herramientas**

De acuerdo con el análisis realizado durante la comparación de modelos según las variables, se puede observar que todas las herramientas tanto las aplicadas a nivel local como el Modelo del INTA, la sugerida por FONTAGRO y el IMN , como las aplicadas a nivel mundial como la Ex – ACT o Cool Farm Tool, toman en cuenta estos parámetros como método para ajustarse mejor a las condiciones presentes al área de investigación (**Cuadro 12**), utilizando datos generales promedio de los factores edafoclimáticos de la región; a medida que se amplía la escala de trabajo, se necesitan estadísticas oficiales, por lo que puede resultar muy difícil conseguir datos detallados. A escala de paisaje, puede ser necesario recurrir al conocimiento experto; lo que aumenta las incertidumbres ocasionando una subestimación o sobreestimación de los resultados.

**Cuadro 12.** Ámbito geográfico considerado por las herramientas.

<b>MODELOS</b>	<b>Ámbito geográfico local</b>	<b>Clima</b>	<b>Suelo</b>
<b>EX-ACT</b>	x	x	x
<b>Cool Farm Tool</b>	x	x	x
<b>Modelo INTA</b>	x	x	x
<b>Modelo FONTAGRO</b>	x	x	x
<b>IMN</b>	x	x	x

Una gran parte de las emisiones depende de las condiciones ambientales locales, especialmente del tipo de suelo y clima. Estos parámetros tienen un impacto especialmente marcado en las emisiones de N<sub>2</sub>O (proceso de nitrificación-denitrificación), así como para el potencial de almacenamiento de carbono en el suelo (Colomb *et al.* 2012). A escala regional o local, el clima es bastante homogéneo; aunque hay situaciones, como por ejemplo las zonas montañosas o las islas, en las que puede haber importantes variaciones climáticas a pequeña escala. Por lo anterior, es importante tomar en cuenta los factores climáticos a la hora de estimar emisiones de GEI.

**Cuadro 13.** Variables asociadas a las emisiones consideradas por cada herramienta.

<b>MODELOS</b>	<b>Producción leche</b>	<b>Categorías<sup>1</sup> y características de animales</b>	<b>Pasturas</b>	<b>Estrategias de alimentación</b>	<b>Costos de producción</b>
<b>EX-ACT</b>	na	na	x	na	na
<b>Cool Farm Tool</b>	x	na	x	x	na
<b>Modelo INTA CR</b>	x	x	x	x	na
<b>Modelo FONTAGRO</b>	x	x	x	x	na
<b>IMN</b>	na	x	x	na	na

<sup>1</sup> Clasificación del hato ganadero: vacas producción, vacas paridas pero no en producción, vacas secas, novillas +2 años, novillas 1-2 años, terneras, novillos +2 años, novillos 1-2 años, terneros, toros, caballos y bueyes.

Las herramientas evaluadas, EX – ACT y IMN, no toman en cuenta los factores asociados a la producción de leche para la estimación de las emisiones (**Cuadro 13**); las demás herramientas sí presentan datos requisitos en cuanto a las características de la leche para estimar las emisiones como % grasa, total de producción, producción kg/vaca/día, además de tomar en cuenta estos y otros factores también se pueden obtener resultados de emisiones por kg de producto generado en la finca (leche o carne); los cuales son datos importantes a la hora de tomar decisiones que contribuyan a la reducción de estas emisiones.

Las categorías y características del bovino las herramientas aplicadas a nivel local como el modelo del INTA, FONTAGRO y el IMN consideran esta variable, debido a que utilizan para el análisis de las emisiones características propias del bovino y para cada categoría del hato; caso contrario a las otras dos herramientas que no consideraron las características propias del bovino para el análisis de las emisiones. Todas las herramientas toman en cuenta las características de las pasturas al considerar entre sus componentes la información nutricional de los diferentes tipos de pasturas que se pueden encontrar en las fincas ganaderas en cuanto a porcentaje de digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), porcentaje de proteína y porcentaje de fibra detergente neutro, como lo es el caso de las herramientas Modelo INTA y la sugerida por el proyecto FONTAGRO, características esenciales y que repercuten mucho a la hora de estimar las emisiones.

Para las estrategias de alimentación, todas las herramientas, excepto la EX – ACT y el IMN, consideraron los suplementos dados al animal debido a que entre sus componentes se puede detallar los suplementos utilizados, así como la ración de materia seca dada al animal; lo cual permite obtener resultados de emisiones de metano y óxido nitroso a partir de las estrategias de alimentación. Caso contrario a la herramienta EX – ACT que no presenta entre sus componentes datos sobre los suplementos alimenticios ofrecidos al animal, por lo que las emisiones presentadas se basan solo en el total de animales por el factor de emisión según IPCC (2006) y no de las estrategias de alimentación.

En cuanto a costos de producción, ninguna de las herramientas consideró esta variable; ya que no presentan entre sus componentes de estimación la información necesaria para realizar un análisis de costos siendo una deficiencia en estas herramientas. Existen herramientas, por ejemplo el *software* LIFESIM, que aparte de mostrar resultados sobre

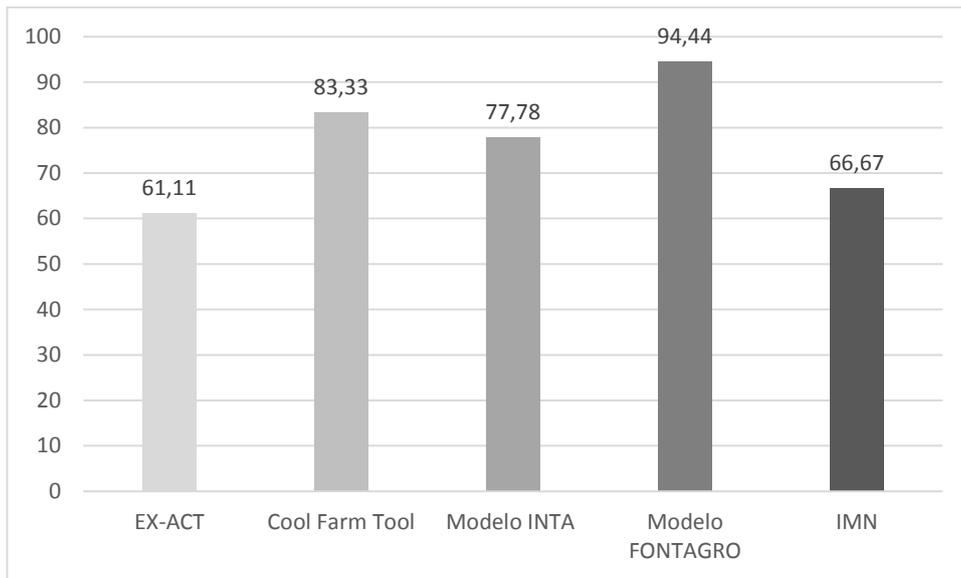
gases de efecto invernadero (metano) aportan también resultados socioeconómicos en cuanto a costo marginal por kg de leche al tomar en cuenta los costos generados de las estrategias de alimentación (Leon *et al.* 2006). Sin embargo, las herramientas de cálculo evaluadas emplean la cuantificación de las diferentes fuentes de emisión que se puede encontrar en fincas ganaderas (**Cuadro 14**).

**Cuadro 14.** Emisiones de GEI consideradas por las herramientas.

MODELOS	CO2 de electricidad utilizada en finca	CO2 proveniente del transporte	Emisiones de CH <sub>4</sub> entérico	Emisiones de N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> gestión de estiércol	Emisiones de N <sub>2</sub> O Fertilizantes y pesticidas	Emisiones por abonos orgánicos *
<b>EXACT</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Cool Farm Tool</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Modelo INTA</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Modelo FONTAGRO</b>	X	X	X	X	X	X
<b>IMN</b>	X	X	X	X	X	X

\* Emisiones de GEI generadas por la aplicación de abonos orgánicos en los diferentes usos de suelo presentes en la finca.

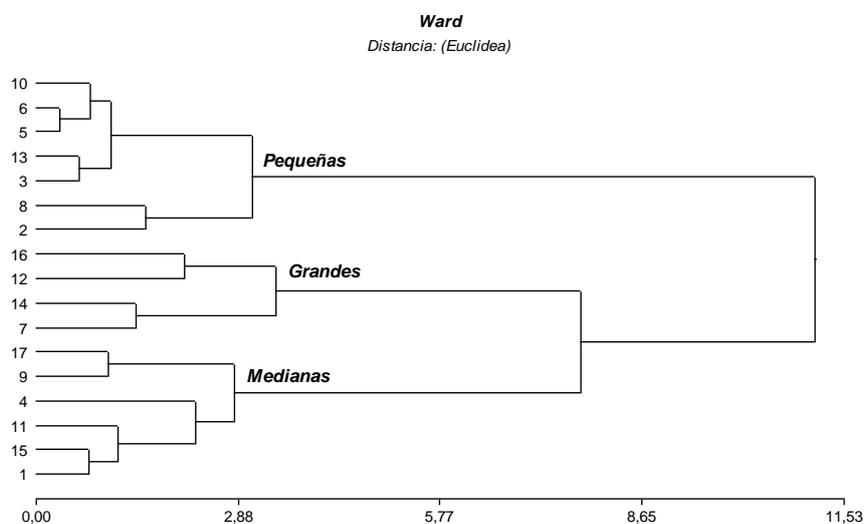
En general, de las herramientas seleccionadas para la estimación de GEI, la que mejor se ajustó a las variables tomadas en cuenta por el presente estudio fue la herramienta sugerida por el proyecto FONTAGRO, debido a que consideraba el mayor número de variables requeridas para el análisis de las emisiones en fincas ganaderas del trópico (**Figura 6**).



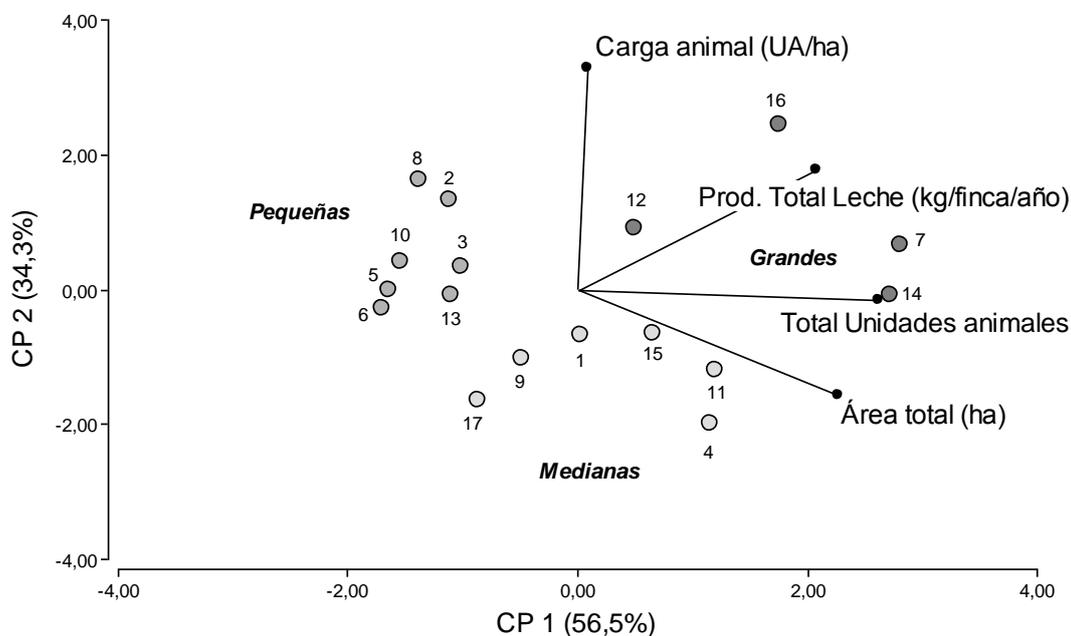
**Figura 6.** Cumplimiento de variables (%) consideradas por las diferentes herramientas. El total de variables utilizadas fue 18.

### Estimación de GEI según herramientas

El agrupamiento de fincas identificó tres grupos, los cuales fueron caracterizados según el análisis multivariado de conglomerados (método Ward, distancia de Euclídea) y componentes principales, realizado con variables como el total de unidades animales, carga animal, producción y área total; el cual permitió observar las relaciones entre variables, de variables con las observaciones y entre observaciones explicando un 90.8% de la variabilidad (**Figura 7 y Figura 8**).



**Figura 7.** Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método de Ward y distancia de Euclídea) para las 17 fincas, a partir de variables (carga animal (UA/ha), producción leche (kg/finca/año), total de unidades animales (ua) y área total (ha) en fincas de la cuenca de río Jesús.



**Figura 8.** Análisis de componentes principales en función de la carga animal (UA/ha), producción total de leche (kg/finca/año), total de unidades animales y área total (ha) en relación con las fincas seleccionadas.

Los grupos establecidos evidenciaron que las fincas grandes presentaron una mayor área total y las fincas medianas poseen una mayor área de pastoreo, debido a que estas fincas alquilan otras áreas de pasturas para el mantenimiento de sus animales, mayor área de bancos forrajeros en fincas grandes, a parte de una mayor suplementación, mayor número de animales y mayor número de vacas en producción que los demás grupos de fincas; sin embargo, se observó una mayor producción de leche y carne por área en fincas grandes y pequeñas que en fincas medianas (**Cuadro 15**).

**Cuadro 15.** Características productivas de fincas ganaderas doble propósito por grupo.

	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
<b>Área total (ha)</b>	44,27±9,25 a	42,75±4,41 a	11,60±1,11 b
<b>Área de pastoreo (ha)</b>	34,09±7,53 a	42,19±4,74 a	10,54±1,68 b
<b>Área de bancos forrajeros (ha)</b>	1,71±0,45 b	0,49±0,13 a	0,30±0,12 a
<b>Área de bosque (ha)</b>	7,00±3,78 a	7,42±3,25 a	1,14±0,60 b
<b>Tipo de alimentación</b>	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos y proteínicos, pacas, concentrados, afrecho de cebada, cascarilla de soya, semolina, cerdaza, gallinaza, pollinaza, miel, sal y minerales	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos y proteínicos, concentrados, semolina, gallinaza, miel, sal y minerales	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos, concentrados, gallinaza, miel, sal y minerales
<b>Total hato</b>	105±12,73 a	66,83±8,71 b	27,43±4,27 c
<b>Carga animal (UA/ha)</b>	2,17±0,23 b	1,09±0,09 a	1,96±0,19 a
<b>Vacas en producción</b>	23,75±4,11 a	15,33±1,74 a	9,14±0,86 b
<b>Producción de leche (kg/ha/año)</b>	3335,40±987,18 b	796,74±140,26 a	2675,41±802,79 b
<b>Producción de carne (kg/ha/año)</b>	221,91±69,40 b	97,03±15,92 a	117,60±20,95 b
Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis			

### **Emissiones de los modelos a través de estudios de caso**

Basados en las **Figura 7** y **8** se seleccionaron tres fincas, que presentaron las siguientes características (**Cuadro 16**).

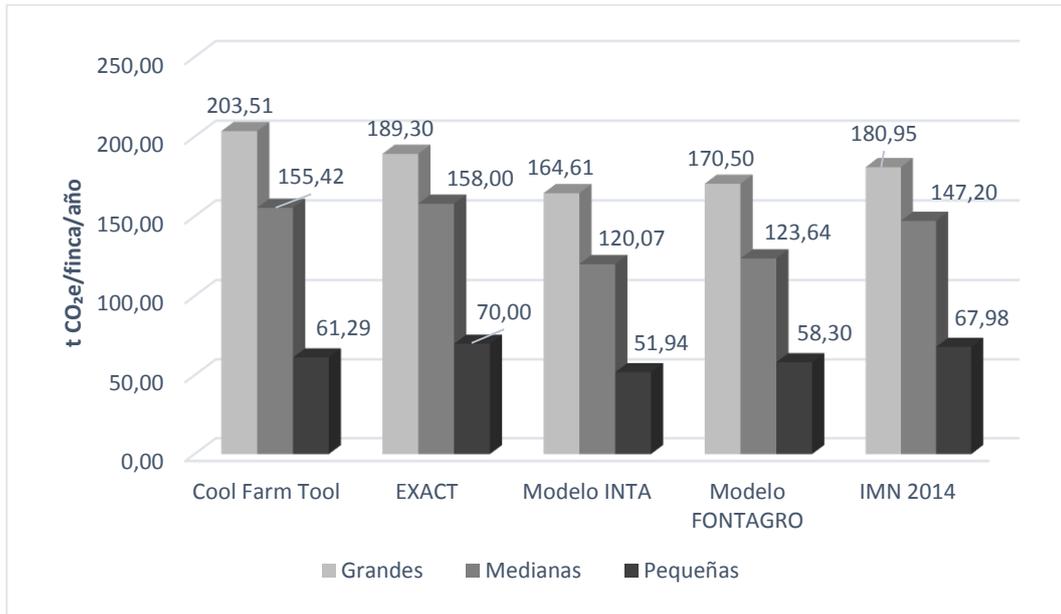
**Cuadro 16.** Características de las fincas seleccionadas según estudios de caso.

	<b>Finca 14 (Grande)</b>	<b>Finca 11 (Mediana)</b>	<b>Finca 3 (Pequeña)</b>
<b>Área total (ha)</b>	60	40	9
<b>Área de pastoreo (ha)</b>	52,5	60,3	18,5
<b>Área de bancos forrajeros (ha)</b>	1,5	1	0
<b>Vacas en producción</b>	32	22	12
<b>Producción (kg/vaca/día)</b>	6,91	4,38	5,35
<b>Consumo diario de MS (kg)</b>	13,29	7,54	8,96
<b>Total de unidades animales</b>	81,65	67,4	33,1
<b>Carga animal (UA/ha)</b>	1,55	1,12	1,81

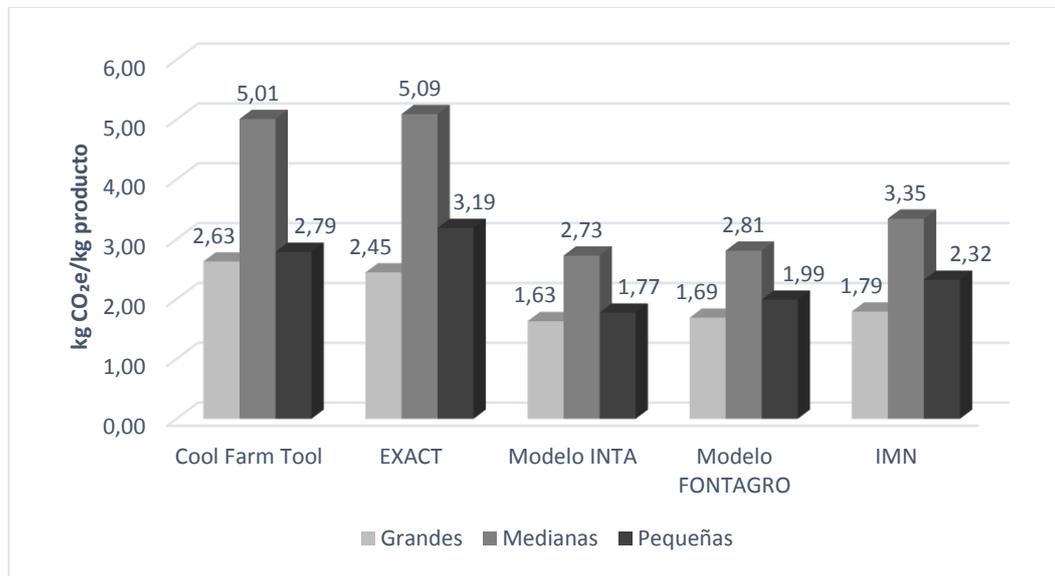
Al comparar las emisiones según las herramientas por estudio de caso, se evidenció que con las herramientas aplicadas a nivel mundial (Cool Farm Tool y EX – ACT) los cálculos de las emisiones son mayores que con las herramientas desarrolladas a nivel local (**Figura 9**). Esta diferencia en los resultados por los modelos se debe a que las herramientas aplicadas a nivel mundial tienden a sobreestimar o en ocasiones a subestimar las emisiones, principalmente, las obtenidas por fermentación entérica al utilizar factores de emisión por defecto. Según lo reportado por Posse *et al.* (2012), utilizando metodologías locales con factores de emisión locales obtuvieron emisiones inferiores que con metodologías utilizadas a nivel global basadas en factores por defecto de IPCC (2006); esto debido a que las herramientas a nivel global no emplean una separación completa de las diferentes categorías del hato, dan un promedio general de emisión del total de animales que se ingrese al modelo, sin tener en cuenta esta separación; se debe tener muy claro que las emisiones difieren mucho por tipo de categoría.

Esta diferencia hace que se pueda tener una mejor estimación de GEI cuando se hacen análisis por categorías del hato, donde se puede obtener emisiones más adaptadas a la etapa de desarrollo en la que se encuentre el animal, resultados más realistas y confiables a la hora de tomar decisiones que aporten a una producción más sostenible del sistema de producción. Los valores de las emisiones con los modelos locales fueron similares, aunque con valores más bajos presentes por el modelo INTA. Así mismo al comparar las emisiones

por unidad de producto, se evidenció que los valores de huellas de carbono presentaron la misma tendencia (**Figura 10**) que las emisiones totales.



**Figura 9.** Estimación de gases de efecto invernadero por tamaño de fincas y por modelo en t CO<sub>2</sub>e/año.



**Figura 10.** Estimación de GEI por tamaño de fincas y por modelo en kg CO<sub>2</sub>e/kg producto.

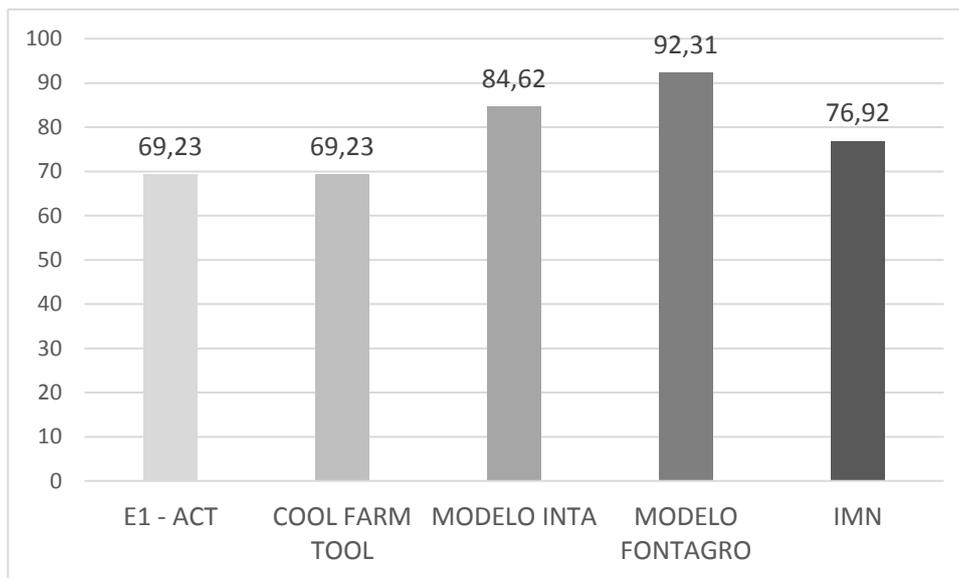
## Selección y validación de la herramienta

Mediante el Taller de expertos de emisiones de GEI en Costa Rica, con base en los criterios se definieron las siguientes variables para hacer la comparación de las herramientas (**Cuadro 17**).

**Cuadro 17.** Aspectos definidos por expertos para la selección de la herramienta.

• <b>Ámbito geográfico</b>	1. Contempla datos geográficos y climáticos de la región
	2. Aplicación a nivel de finca
• <b>Facilidad de uso</b>	3. Que sea amigable
	4. Que sea versátil
• <b>Nivel de información</b>	5. Información cuantitativa y precisa
	6. Información de fácil acceso
• <b>Nivel de usuario</b>	7. Requiere experiencia en el manejo de computadores (programa Excel u otros)
	8. Versión según usuario (productor, técnico, profesional)
• <b>Resultados</b>	9. Inventarios y balance de GEI
	10. Emisiones por fuentes de emisión (t)
	11. Emisiones CO <sub>2</sub> e totales/finca/año, área y producto (t)
	12. Secuestro de carbono en coberturas vegetales, así como en suelo
	13. Estima emisiones en más de una finca a la vez

La herramienta que consideró el mayor número de aspectos definidos por cada criterio generado por los expertos en el tema de las emisiones fue la herramienta sugerida por el proyecto FONTAGRO según evaluación de expertos (**Figura 11**).



**Figura 11.** Cumplimiento de criterios (%) considerados por las diferentes herramientas. El total de criterios utilizados fue 13.

De acuerdo con las evaluaciones antes realizadas y posteriores resultados obtenidos para cada modelo se lograron identificar ventajas y desventajas de cada una de las herramientas, las cuales se pueden tomar en cuenta a la hora de seleccionar un modelo de estimación de GEI (**Cuadro 18**).

**Cuadro 18.** Ventajas y desventajas de los modelos.

Herramientas	Ventajas	Desventajas
<b>Cool Farm Tool (CFT) v 2.0 beta3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se obtienen emisiones en el momento y ciclo de vida.</li> <li>- Toma en cuenta la estrategia de alimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No estima las emisiones de CH<sub>4</sub> de FE por categoría de ganado.</li> <li>- Se necesitan muchos datos.</li> </ul>
<b>EX-ACT v 3.0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se pueden estimar las emisiones en dos escenarios con y sin proyecto.</li> <li>- Se pueden realizar proyecciones de las emisiones obtenidas para futuras soluciones.</li> <li>- Toma en cuenta las emisiones generadas en transporte de insumos por parte de las empresas.</li> <li>- Balance de GEI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No estima las emisiones de CH<sub>4</sub> de FE por categoría de ganado.</li> <li>- No toma en cuenta las estrategias de alimentación para el análisis de las emisiones.</li> <li>- No presenta las emisiones generadas por fuente de emisión.</li> <li>- No estima las emisiones generadas por la aplicación de abonos en usos de suelo.</li> </ul>
<b>Modelo INTA CR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estima las emisiones de CH<sub>4</sub> de FE por categoría de ganado.</li> <li>- Toma en cuenta la estrategia de alimentación.</li> <li>- Fácil de manejar.</li> <li>- Balance de GEI.</li> <li>- Necesita pocos datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No estima las emisiones generadas por la aplicación de abonos en usos de suelo.</li> </ul>
<b>Modelo sugerido Proyecto FONTAGRO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estima las emisiones de CH<sub>4</sub> de FE por categoría de ganado.</li> <li>- Toma en cuenta la estrategia de alimentación.</li> <li>- Fácil de manejar.</li> <li>- Balance de GEI.</li> <li>- Necesita pocos datos.</li> <li>- Se pueden estimar emisiones de más de una finca.</li> </ul>	
<b>IMN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estima las emisiones de CH<sub>4</sub> de FE por categoría de ganado.</li> <li>- Fácil de manejar.</li> <li>- Necesita pocos datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se pueden realizar proyecciones de las emisiones obtenidas para futuras soluciones por el momento.</li> <li>- No hace balance de GEI.</li> </ul>

Dichas herramientas poseen características que son importantes tomar en cuenta a la hora de analizar las emisiones en estos sistemas productivos, por ejemplo, la proyección a futuro de las emisiones por las herramientas, la cual permite tener una idea más clara de hacia donde se deben encaminar los esfuerzos para reducir las emisiones de GEI (FAO 2013). Este es un método clave para decisores de políticas, así como de técnicos a la hora de buscar opciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático. Otra característica importante en las herramientas es la estimación de GEI por categoría de hato, de la cual se obtiene una estimación más precisa en cuanto las emisiones por fermentación entérica, fuente de emisión clave debido a que representa más del 60% de las emisiones totales generadas en los sistemas de producción ganadera (Gerber *et al.* 2013).

Es relevante también que las herramientas consideren las estrategias de alimentación y las características nutricionales, debido a que es el proceso de mayor impacto en la emisión de metano. Carmona *et al.* (2005) señalan que entre los factores que influyen en su producción de metano están las características físicas y químicas del alimento, las cuales afectan directamente el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación.

Una de las ventajas más importantes que deben de poseer las herramientas a la hora de estimar emisiones de GEI, es que se puedan realizar estimaciones a más de una finca a la vez, como lo muestra el modelo FONTAGRO en comparación con los demás modelos evaluados (**Cuadro 18**), el cual permite acortar los tiempos de análisis de las emisiones de las fincas con el fin de tener un mayor tiempo en la discusión de los resultados. Según Colomb *et al.* (2012), una estimación del tiempo necesario para el análisis de las emisiones va a depender mucho del nivel deseado de detalles, de la fiabilidad y de la disponibilidad de los datos en cada territorio, también por el alto presupuesto que implica la introducción de los datos en los modelos, por lo tanto, es importante utilizar herramientas que no estimen las emisiones finca por finca, sino a un determinado grupo de fincas para agilizar el proceso de análisis de las emisiones.

## **CONCLUSIONES**

El uso de herramientas locales para la estimación de GEI en fincas ganaderas contribuye con resultados más conservadores, reales y precisos en comparación con las herramientas que utilizan factores de emisión generales o por defecto.

La herramienta local para la estimación de GEI en sistemas ganaderos es importante que sea validada con actores locales (potenciales usuarios) para asegurar su uso en los proyectos que incluyen la estimación de GEI. También, este proceso participativo permite la retroalimentación para la mejora continua de la herramienta.

## **RECOMENDACIONES**

La herramienta para estimar emisiones de GEI en fincas ganaderas debe incluir factores de emisión locales para reducir la incertidumbre que presenta la mayoría de herramientas con enfoque global. En caso de no existir dichos factores de emisión, se debe motivar su generación por medio de investigaciones con metodologías de mediciones directas y así obtener factores más precisos y más acorde a las condiciones locales de la región.

Las herramientas para la cuantificación de GEI en sistemas de producción ganaderos deben calcular algún indicador económico, esto con el fin de conocer la relación de la eficiencia económica e intensidad de emisiones de GEI y con ello identificar los diseños de fincas que cumplen esta condición.

Es importante fomentar talleres de expertos en el tema de las emisiones de GEI en la región para estandarizar metodologías que permitan la validación de la herramienta para mejorar la estimación de las emisiones de GEI en la ganadería de la región.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, S. 2013. Guía para plan, ejecución, seguimiento y monitoreo de fincas ganaderas bajas en emisiones GEI. Instructivo para el levantamiento de datos en finca para la evaluación de servicios eco-sistémicos y gases de efecto invernadero en fincas ganaderas. Programa Nacional de Ganadería Baja en Carbono, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica.
- Bernoux, M.; Branca, G.; Carro, A.; Lipper, L.; Smith, G.; Bockel, L. 2010. Ex-ante greenhouse gas balance of agriculture and forestry development programs. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* (1): 31-40 p.
- Carmona, J.; Bolívar, D.; Giraldo, L. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(1): 49-63 p.
- Ciesla, W. 1996. Cambios climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. *Estudios FAO: Montes No. 120.*: 146 p.
- Colomb, V.; Bernoux, M.; Bockel, L.; Chotte, J.; Martin, S.; Martin-Phipps, C.; Mousset, J.; Tinlot, M.; Touchemoulin, O. 2012. Estudio de las herramientas GEI para los sectores agrícola y forestal. FAO, ADEME, IRD.
- Denef, K.; Paustian, K.; Archibeque, S.; Biggar, S.; Pape, D. 2012. Report of Greenhouse Gas Accounting Tools for Agriculture and Forestry Sectors. Interim report to USDA under Contract No. GS23F8182H.
- Di Rienzo J. A.; Casanoves F.; Balzarini M. G.; González L.; Tablada M., R.C.W. 2008. Infostat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería: una evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. Consultado 07 de enero 2016. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>
- 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.: 34-220 p.

- Hillier, J. 2012. Acerca de: CFT, Cool Farm Tool. University of Aberdeen the Sustainable Food Lab, Sebastopol, California. Consultado 16/08/2014. Disponible en <http://www.coolfarmtool.org/Home>
- IMN, I.M.N. 2014. Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Cuarta Edición. San José, Costa Rica.: 10 p. Consultado 02/03/2015. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/factores-de-emision-gei-cuarta-edicion>
- IPCC, I.P.C.C. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Agriculture, Forestry, and Other Landuse. OECD Press, Paris (2006) (475): 505.
- Leon, C.; Quiroz, R.; Cañas, R.; Osorio, J.; Guerrero, J.; Pezo, D. 2006. Life - Sim: livestock Feeding Strategies; simulation models. Natural Resources Management; International Potato Center, CIP, Lima, Peru. (Working paper N° 20006-1.): 37 pág.
- Montenegro, J.; Abarca, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE - FAO - SIDE. Ed Nuestra Tierra: 334 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.
- Oyhantçabal, W.; Vitale, E.; Lagarmilla, P. 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. Monte Video, Uruguay: 8 p.
- Posse, G.; Page, W.; García, M.; Berra, G.; Bellomo, M.; Baulo, R.; Finster, L.; Sager, L.; Gattinoni, N.; Melchiori, A.; Bengolea, A.; Panza, A. 2012. Monitoreo del intercambio de gases con efecto invernadero y ciclado del carbono en actividades ganaderas, agrícolas y silvícolas. INTA, Argentina.
- Tobar, D.; Vega, A. 2015. Estimación de emisiones de GEI en fincas ganaderas: Herramienta propuesta por el Proyecto FONTAGRO. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (CATIE-INTA), Costa Rica. (En preparación)

## **CAPÍTULO 2. DETERMINAR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA DOBLE PROPÓSITO DE LA CUENCA DEL RÍO JESÚS MARÍA EN COSTA RICA**

Vega A. <sup>1\*</sup>, Tobar D. <sup>1</sup>, Sepúlveda CJ. <sup>1</sup>, Villanueva C. <sup>1</sup>, Abarca S. <sup>2</sup>

*1 CATIE, Costa Rica*

*2 INTA, Costa Rica*

*(\*Autor para correspondencia: e-mail: andres.vega@catie.ac.cr)*

### **RESUMEN**

El propósito del presente estudio fue analizar la dinámica de los gases de efecto invernadero en fincas con sistemas doble propósito en la cuenca del río Jesús María en Costa Rica. El área del estudio está ubicada en la zona del Pacífico central (trópico subhúmedo). En el primer objetivo, se determinaron las emisiones totales de gases de efecto invernadero de fincas doble propósito, donde se analizó un total de 17 fincas con sistemas doble propósito seleccionadas de la base de datos generada por el proyecto FONTAGRO 2012-2013, la cual fue actualizada al período 2015 para abordar los objetivos del presente estudio.

Se compararon las emisiones de GEI en fincas ganaderas según grupos de fincas (grande, medianas y pequeñas), con el fin de conocer cómo incide el manejo del sistema de producción ganadero en las emisiones de GEI en la región. Las emisiones de GEI totales de la finca fueron estandarizadas con la unidad de medida CO<sub>2</sub>e. Las fincas grandes presentaron los valores más altos de emisiones de GEI y las fincas pequeñas, los más bajos (grandes 139,48; medianas 95,95; pequeñas 42,03 t CO<sub>2</sub>e/año). Donde la mayor emisión proviene de la fermentación entérica (grande 86%, medianas 81%, pequeñas 72%), estas diferencias están relacionadas con la carga animal y el tipo de alimentación, siendo mayor en las fincas grandes. Esto se evidencia a nivel del hato, donde las mayores emisiones provienen del ganado en producción; esta categoría en las fincas posee el mayor número de animales (22,9 t CO<sub>2</sub>e/año), seguido de vacas secas (14,70 t CO<sub>2</sub>e/año) y novillas (9,98 t CO<sub>2</sub>e/año) con menores emisiones. Sin embargo, al comparar por eficiencia ganadera o de manejo de la finca, las emisiones por producto de leche y carne fueron 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg

leche y 33,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne, siendo menor en fincas grandes (1,50 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche) debido a que presenta un mejor manejo de la alimentación; mientras que en fincas pequeñas y medianas tuvieron valores mayores (1,97 y 2,92 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche), y en emisiones por kg de carne las fincas grandes y medianas tuvieron los menores valores (26,98 y 25,47 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne) que las fincas pequeñas (43,70 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne), siendo estas las mayores emisoras. Esto se refleja también según la época climática, se evidenció una mayor emisión en época seca (1,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche y 18,79 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne) que en época lluviosa (0,87 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche y 13,42 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne); debido a la disponibilidad y calidad de forraje a lo largo del año. Así mismo, el uso eficiente del manejo de la alimentación a lo largo del año favorece a reducir las emisiones de GEI asociadas; esto su vez está reflejando una mejor productividad, así como de mayores ingresos, relacionado con una mejora en la intensidad de emisiones por producto, por lo que son más eficientes.

## SUMMARY

The purpose of this study was to analyze the dynamics of greenhouse gases on farms dual purpose systems in the Jesus Maria River Basin in Costa Rica. The study area is located in the Central Pacific (humid tropics). In the first objective, the total emissions of greenhouse gases dual purpose farms where a total of 17 farms were analyzed with double purpose systems selected database generated by the project were determined FONTAGRO 2012-2013, which was updated for the period 2015 to address the objectives of this study. GHG emissions on cattle farms was compared by groups of farms (large, medium and small) in order to know how management affects livestock production system in GHG emissions in the region. Total GHG emissions from the farm were standardized with the measurement unit CO<sub>2</sub>e. Large farms had the highest values of GHG emissions, and lower the (large 139,48; medium 95,95; 42,03 small t CO<sub>2</sub>e/year) small farms. Where most emissions come from enteric fermentation (86% large, 81% medium, small 72%), these differences are related to stocking and type of feed, being higher in large farms. This is evidenced herd level, where the greatest emissions come from livestock production where this category on farms has the largest number of animals (22,9 t CO<sub>2</sub>e/year), followed by dry cows (14,70 t CO<sub>2</sub>e/year) and heifers (9,98 t CO<sub>2</sub>e/year) with lower emissions. However, when comparing efficiency by livestock or farm management, product emissions milk and meat were 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk and 33,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg of meat is lower in large plantations (1,50 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk) because it has better handling of food, while small and medium farms had higher values (1,97 and 2,92 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk) and emissions per kg meat medium and large farms had the lowest values (26,98 and 25,47 kg CO<sub>2</sub>e/kg meat) that small farms (43,70 kg CO<sub>2</sub>e/kg meat) and these are the major broadcasters, this is also reflected by time greater emission climate was evident in the dry season (1,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk and 18,79 kg CO<sub>2</sub>e/kg meat) than in rainy season (0,87 kg CO<sub>2</sub>e/kg milk and 13,42 kg CO<sub>2</sub>e/kg meat) due to availability and quality of forage over the year. Also, the efficient use of feed management throughout the year helps to reduce GHG emissions associated and this in turn is reflecting improved productivity and higher income related to an improvement in emissions intensity per product being more efficient.

## INTRODUCCIÓN

Se predice que el cambio climático afectará más a los países en vías de desarrollo, debido a su baja capacidad de adaptación frente a los eventos extremos que se están evidenciando por el clima del planeta, inundaciones, sequías más prolongadas, disminución del agua, inseguridad alimentaria, pérdida de la biodiversidad e impactos en el bienestar humano, etc., numerosas catástrofes hacen que tome relevancia el tema del cambio climático a nivel global. El cual es provocado principalmente por el aumento en los gases de efecto invernadero. La agricultura ha sido señalada como una de las causas del cambio climático, debido a que es emisora de gases de efecto invernadero (GEI), tal como metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las actividades agrícolas contribuyen con un 13,5% de las emisiones total de GEI; debido a la fermentación entérica, producción bajo inundación y el uso de fertilizantes nitrogenados (IPCC 2006) y (Johnson *et al.* 2007).

El sector agropecuario en Costa Rica es el segundo en importancia en emisiones de GEI (gases de efecto invernadero). Dentro del sector agropecuario, el subsector ganadero es el que más emisiones genera en escala nacional (IMN 2005). Los niveles de emisiones más altos provienen de los sistemas más extensivos, comprendiendo en su mayoría a pequeños productores con recursos muy limitados (Steinfeld *et al.* 2006).

La cuenca del río Jesús María, una de las cuencas más degradadas de Costa Rica, presenta un 19,6% de sobreuso de sus tierras y un 16 % con señales de sobreuso severo; debido, principalmente, al uso ganadero en áreas que deberían estar bajo cobertura boscosa (cuenca media y alta); mientras que el 10 por ciento de la tierra está subutilizada (CADETI 2004). El sistema de producción es manejado bajo pastoreo extensivo e intensivo y en general se suministran concentrados, pasto de corte o sales minerales como suplementos para cumplir con los requerimientos nutritivos, con el fin de lograr altos niveles de producción de leche (Betancourt 2003). La presencia de árboles es particularmente común en la zona y de considerable importancia por los finqueros, dado que es fuente alterna de insumos en las fincas (postes, madera, etc.), fuente de alimento y sombra para el ganado.

En esta región, las pasturas están degradadas en un 30% (Szott *et al.* 2000); lo cual se puede interpretar en pérdidas económicas y ambientales de considerable magnitud, ya que esto

influye en la productividad de la finca, en la generación de servicios ambientales, así como en el aumento de la emisiones de gases de efecto invernadero; no obstante, tecnologías como los sistemas silvopastoriles contribuyen a mejorar la producción animal y la conservación de los recursos naturales de las fincas ganaderas, así como en la disminución de los gases de efecto invernadero, a la vez que permiten al productor adaptar y afrontar situaciones difíciles como la época seca donde no hay suficiente alimento.

La ganadería tiene un potencial elevado para disminuir las emisiones de GEI, a través del uso extendido de mejores prácticas de producción, optimizando también de esta forma los sistemas de producción, pues existe una estrecha relación entre la eficiencia en el uso de los recursos y la intensidad de las emisiones de GEI de los sistemas de producción (FAO 2013). Las prácticas sostenibles aportan a la reducción de las emisiones de gases por parte de la ganadería, reducen la vulnerabilidad y garantizan una producción competitiva y rentable (Abarca, 2008).

Por lo que el presente trabajo tiene por objeto estimar las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas con sistemas doble propósito, a través de la clasificación de fincas (grandes, medianas y pequeñas) representando la situación actual de las emisiones de GEI generadas, y conocer la relación entre la productividad y rentabilidad asociadas a las emisiones en estos sistemas ganaderos de la región.

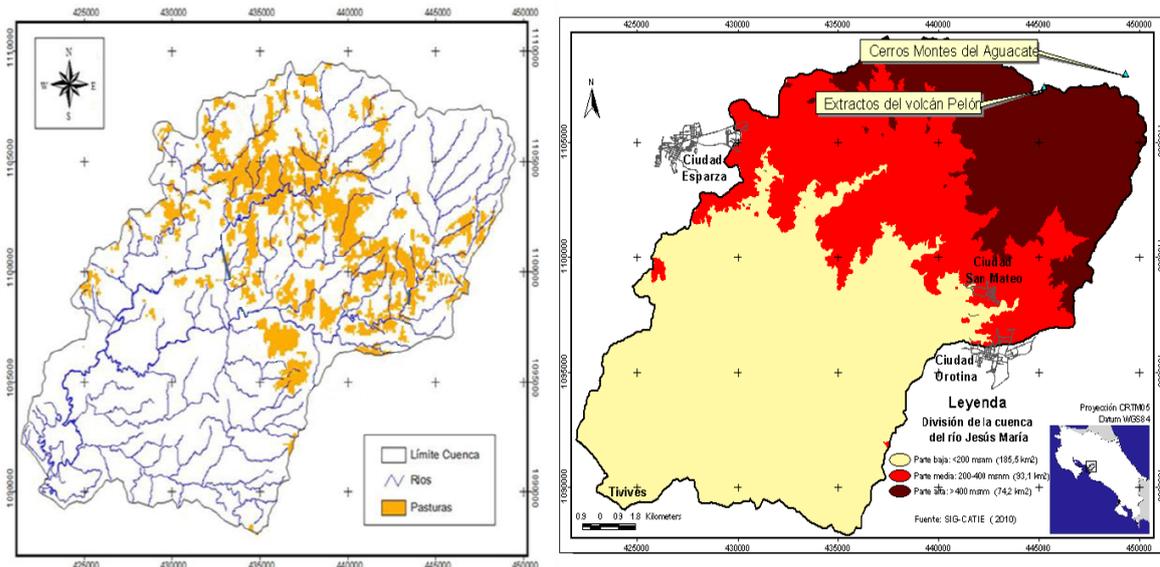
## **OBJETIVOS**

- Determinar la emisión de gases de efecto invernadero en distintos grupos de fincas con sistemas doble propósito en la cuenca del río Jesús María.
- Explorar los factores que explican la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de doble propósito.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de investigación

El estudio se realizó en la cuenca del río Jesús María, la cual posee una superficie aproximada de 352,8 km<sup>2</sup> y una proyección estimada de pasturas de 3.470 hectáreas; comprende los cantones de Esparza y Montes de Oro de la provincia de Puntarenas, además de San Mateo, Jesús María, Labrador, San Ramón entre otras de la provincia de Alajuela. Se sitúa entre las coordenadas 84° 34 " 48 ' W y 9° 57 " 36 ' N y alturas comprendidas entre 170 msnm y 850 msnm, una temperatura media de 27°C y precipitaciones entre 1500-2000 mm por año (**Cuadro 20**).



**Figura 12.** Distribución de pasturas y división de la cuenca media del río Jesús María configuración topográfica y desnivel predominante.

**Fuente:** SIG-CATIE 2010.

La principal cobertura del suelo está dada por pastos con árboles dispersos (37,7% del territorio de la cuenca) (Lemus De Jesús 2008). Se encuentran pendientes moderadamente planas y escarpadas, los suelos son de textura media (arenoso limoso o franco arcillo arenoso) y generalmente degradados. La actividad económica predominante es la ganadería de carne y doble propósito (ocupando un 37% de su área), seguida por la agricultura (generalmente frutas).

**Cuadro 19.** Características biofísicas y productivas de los sistemas doble propósito de la cuenca del río Jesús María.

<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>
<b>Área total de las fincas (ha)</b>	514,75
<b>Número total de finca</b>	17
<b>Zona de vida según Holdridge</b>	Bosque Subhúmedo Tropical
<b>Altitud (msnm)</b>	170-850
<b>Precipitación (mm)</b>	1500-2000
<b>Temperatura media (°C)</b>	27
<b>Sistemas de producción</b>	Doble propósito
<b>Tamaño promedio de fincas (ha)</b>	30,28 ± 5,03
<b>Rango del tamaño de fincas (ha)</b>	8,77 - 75
<b>Área promedio de pastoreo</b>	27,25 ± 4,27
<b>Rango del tamaño de área de pasturas (ha)</b>	7 – 60,3
<b>% de área cubierta de pastos</b>	78
<b>Área promedio de bosques (ha)</b>	4,74 ± 1,56
<b>Rango del tamaño de bosques (ha)</b>	0 - 23
<b>Área promedio de bancos forrajeros</b>	0,70 ± 0,18
<b>Rango del tamaño de área de pasturas (ha)</b>	0 – 3,00

### **Selección de fincas**

Se tomaron en cuenta a 17 productores de la base de datos generada por el proyecto Diseño de sistemas silvopastoriles como estrategia para la adaptación y mitigación al cambio climático de sistemas ganaderos del trópico centroamericano – FONTAGRO, 2012-2013 en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

En la base de datos se seleccionaron las variables relevantes para los cálculos de GEI en fincas ganaderas como área geográfica (ámbito geográfico aplicado, clima, suelo), área (has) de usos de suelo presentes en las fincas, variables asociadas a las emisiones (producción lechera, características del bovino, cantidad de animales, carga animal (UA/ha), pasturas y suplementos utilizados, así como sus características nutricionales (porcentaje de digestibilidad, proteína cruda, fibra detergente neutro, grasa de la leche y energía metabolizable de los suplementos), kg de materia seca consumida por animal,

costos de producción, energía eléctrica utilizada en la finca (KWh/mes), kg de fertilizante y estiércol aplicado en los diferentes usos de suelo, combustible (L/mes) utilizado dentro y fuera de la finca como el diésel y gasolina, porcentaje de digestibilidad ingesta, coeficiente Ym y factores de emisión del país.

Los datos recolectados fueron organizados y analizados en una base de datos, representando la información de las fincas para el período 2015. La base de datos generada en el actual período fue utilizada como fuente principal para abordar los objetivos del presente estudio.

### **Análisis de las emisiones de GEI**

Para las estimaciones de GEI, se utilizó la finca como unidad de medida tomando en cuenta las variables consideradas por el presente estudio para el análisis de las emisiones.

Los análisis de las emisiones fueron presentados de dos formas: las emisiones totales generadas por las fincas y las emisiones generadas por grupos de fincas, se clasificaron las fincas de acuerdo con un análisis multivariado por medio de un análisis de conglomerados jerárquicos con el método Ward para separar la muestra de 17 productores en grupos y la distancia se obtuvo a partir de la similaridad de Euclidea al tener variables cuantitativas.

Para obtener los grupos, se tomaron en cuenta las variables de área total (has), carga animal (UA/ha), producción (leche kg/finca/año) y total de unidades animales por finca y se caracterizaron los grupos establecidos, los análisis de los datos fueron realizados y estandarizados en InfoStat (Di Rienzo J. A. *et al.* 2008). Se presentaron las emisiones generales por grupo y las emisiones generadas por época del año.

Para la comparación de los resultados, se utilizó el análisis de varianza no paramétricas; debido a que las variables no presentaban una distribución normal de los parámetros evaluados, aparte de no cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se utilizó el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis.

## Herramienta seleccionada para la estimación de las emisiones de GEI

Para el cálculo de las emisiones, se empleó la herramienta de cálculo local, desarrollado por el proyecto FONTAGRO, en el cual se contemplaron las emisiones en dos fases, los procesos dentro y fuera de las fincas:

1. Dentro de la finca: se incluyen las emisiones producidas por los animales en los procesos digestivos, manejo de estiércol, utilización de fertilizantes, uso de combustibles fósiles y consumo de electricidad para suplir agua o procesos de preparación de suplemento, así como del producto principal.
2. Fuera de la finca: se contemplan las emisiones por quema de combustible fósil en la adquisición de insumos, transporte de jornales, comercialización de la leche cruda y las emisiones por procesos productivos en la fabricación de insumos para la finca (gas, quema de leña).

## Límites del trabajo

Se incluyeron los temas de entradas y salidas de la finca debido a que estas son controladas por el productor, así como aspectos de las demás emisiones generadas en el sistema; de modo que, para el análisis de las emisiones, se trabajó con dos de las aproximaciones generadas por el IPCC (2006) para la contabilización de las emisiones de GEI, el “Tiers 1” y el Tiers 2” que para la estimación de las emisiones contemplaron los factores de emisión generados en el país (IMN 2014) (**Cuadro 21**), esto para un resultado más preciso de las emisiones al ser propios del país.

Principales emisiones consideradas del **Alcance 1**:

Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del transporte de insumos (fertilizantes, herbicidas, diésel para maquinaria, concentrados y medicinas).

Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la utilización de combustibles fósiles para el funcionamiento de maquinarias dentro de la finca.

Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la utilización de la energía eléctrica.

Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de la aplicación de fertilizantes sintéticos en pasturas y bancos de forraje, pesticidas, así como cultivos generados dentro de la finca.

Emissiones de N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de residuos sólidos y líquidos.

Principales emisiones consideradas del **Alcance 2**:

Emissiones de CH<sub>4</sub> procedentes de la fermentación entérica por categoría de ganado.

Emissiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo de residuos sólidos y líquidos.

**Cuadro 20.** Fuentes de emisión identificadas en la actividad ganadera y factores de emisión.

Actividades	GEI emitido	Unidades	Factor de emisión	Fuente	
<b>Fermentación entérica (bovinos)</b>	CH <sub>4</sub>	kg CH <sub>4</sub> /animal /año	Terneros (as)	16,81	(IMN 2014)
			Hembras en crecimiento	41,91	
			Machos en crecimiento	70,16	
			Hembras adultas	85,67	
			Machos adultos	111,70	
			Caballos	18	
<b>Gestión del estiércol</b>	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	kg N <sub>2</sub> O- N/kg N	1.57	(IPCC, 2006)	
<b>Fertilización</b>	N <sub>2</sub> O	t N <sub>2</sub> O/ha/año	1		
<b>Electricidad</b>	CO <sub>2</sub>	t CO <sub>2</sub> /kWh	0.1300	(IMN 2014)	
<b>Transporte</b>	CO <sub>2</sub> Diésel	t CO <sub>2</sub> /L	2.26		
	CO <sub>2</sub> Gasolina	combustible	2.69		

Para la estimación de las emisiones, se deben de tomar en cuenta las principales fuentes de emisión de GEI que pueden encontrar en los sistemas ganaderos (**Cuadro 22**), así como los parámetros requeridos para el cálculo de las emisiones; las cuales se mencionan a continuación.

**Cuadro 21.** Parámetros requeridos para la estimación de GEI.

<b>Parámetros</b>
Composición del hato (estado fisiológico y producción)
Consumo y calidad nutritiva de los alimentos
Combustibles
Electricidad
Fertilización
Gestión del estiércol

### **Supuestos para el análisis de las emisiones**

- Todos los animales pastorean por igual en todos los sistemas de uso de la tierra en cada finca.
- Durante el período de lactancia, se destina un cuarto de la ubre para el ternero.
- La dinámica de ventas de ganado de la finca (terneros y animales de descarte) es constante cada año.
- Las emisiones generadas por kilogramo de producto (leche y carne) provienen de la dinámica de las ventas.
- El hato varía durante época, por lo que se toma en cuenta el inventario de cada época.
- El hato no varía durante el año, por lo que se considera la composición del hato al momento de realizar la entrevista.
- Una anidad animal corresponde a 450 kg.
- El análisis de GEI empieza en la producción ganadera en la finca y finaliza en la producción de carne y leche dentro de la finca.
- En los cambios de uso del suelo, no se está cambiando las características de los hatos, manejo y variables de producción de las fincas.
- La ganancia de peso vivo por cada categoría se estimó en información previa desarrollada para la zona de estudio.
- Los resultados generados en el presente informe corresponden específicamente a los estimados para las fincas estudiadas por el proyecto FONTAGRO.

- Las emisiones fueron expresadas en t CO<sub>2e</sub>/año y t CO<sub>2e</sub>/ha/año como unidad utilizada en los inventarios de GEI (IPCC 2007).
- Los niveles de potencial de calentamiento (horizonte 100 años) corresponden a los recomendados por el IPCC que fueron CO<sub>2</sub>=1, CH<sub>4</sub>=21 y N<sub>2</sub>O= 310.
- Los datos de digestibilidad y proteína cruda fueron obtenidos de los trabajos de Peters *et al.* (2011) y Sánchez (2008), además de datos proporcionados por las cooperativas de leche en la región.

### **Variables consideradas por el presente estudio**

Para cumplir con este objetivo, se identificaron las variables de mayor peso a la hora de estimar las emisiones, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Características del hato.** Número y raza de animales.
- Productividad.** Información de los niveles de producción de leche diaria promedio animal y su % de grasa y proteína por medio de las plantas procesadoras de leche al que se encuentran asociados. La producción de leche se corrigió a un 2,98 – 3,2 % de grasa (basado en la información dada por los productores), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$kg\ GPCL = (0.337 + 0.116 * G + 0.06 * P) * L$$

Donde:

GPLC: grasa y proteína corregida por la producción de leche

G: porcentaje de grasa en la leche

P: porcentaje de proteína en la leche

L: total de leche producida por todas las vacas de las fincas

- Usos de suelo.** Se estableció el área en usos productivos y otros usos. Además de la caracterización de los forrajes disponibles en especial las especies de pastos que se manejan en la finca. Sistema de manejo como periodos de descanso/ocupación y carga animal y la caracterización de la dieta.

- Características de la dieta:** uno de los procesos de mayor sensibilidad en la cuantificación de GEI en los sistemas ganaderos es la caracterización de la dieta. De

este análisis, se determinan el porcentaje de digestibilidad (%DIVMS) y el porcentaje de proteína cruda (%PC) de la dieta. Se recomienda caracterizar la dieta con la mayor precisión posible, las variables %DIVMS y % PC son decisivas para una correcta cuantificación de emisiones dentro de la finca, los datos de DIVMS y de PC de los alimentos utilizados en las fincas se obtuvieron de información secundaria de trabajos realizados en la zona o en otras zonas similares en Costa Rica.

- e) **Características de insumos.** Dentro de la finca, se desarrollan distintas actividades que dependen de los insumos externos que la finca necesita para su correcto funcionamiento. En este sentido, se prestó prioridad a los fertilizantes nitrogenados, consumo de combustibles fósiles y se estimó también las emisiones de transporte, así como almacenamiento de los fertilizantes en la finca.
  
- f) **Manejo del hato.** Debido a la baja disponibilidad de forraje en la pastura durante el periodo de verano algunos productores disminuyen el número de bovinos con relación al periodo anterior, mientras que otros conservan la misma estructura en época lluviosa como época seca. Esta situación afecta directamente los niveles de GEI debido a la calidad de la pastura que cambia entre épocas, ya que la pastura es la base de la alimentación en las fincas del presente estudio.

Es relevante tener en cuenta que para las estimaciones de GEI la recomendación del IPCC es debe considerar los siguientes componentes para la ganadería:

### **Emisiones de N<sub>2</sub>O por fertilizantes nitrogenados y pesticidas**

La cantidad de nitrógeno y pesticida aplicado a los potreros y otros sistemas forrajeros se consideró un factor de emisión de la aplicación de nitrógeno de 0.01 kg N<sub>2</sub>O/kg N para fertilizantes con urea y nitrogenados (IPCC 2006). Se utilizaron las concentraciones de N en cada uno de los fertilizantes. La aplicación de fertilizantes y urea fue analizada por época climática para cada una de las 17 fincas, así como los fertilizantes orgánicos.

Para la obtención del N<sub>2</sub>O, se utilizó el factor de conversión de 0.01 que es el porcentaje de nitrógeno que se volatiliza a la atmósfera multiplicado por la cantidad de nitrógeno aplicado al sistema, el resultado obtenido son las emisiones de óxido nitroso salientes del

sistema y para pasarlo a unidades de CO<sub>2</sub>e se multiplica por el potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O que es de 310, así se obtienen las emisiones por este tipo de fuente.

### **Emisiones de CO<sub>2</sub> por combustibles fósiles**

Los combustibles fósiles utilizados en el manejo de las fincas ganaderas, tal como el uso de bombas de motor, guadañas, motosierras y tractores. Los factores de emisión utilizados fueron de 2,69 y 2,26 kg CO<sub>2</sub>e/l de diésel y gasolina, respectivamente (IMN 2014). Para el consumo de leña, se empleó el factor de emisión según el factor de emisión es de 1.7 kilogramos de CO<sub>2</sub> /kilogramo por leña (IMN 2014)

### **Emisiones de CO<sub>2</sub> por electricidad**

Se cuantificó el consumo total de electricidad en las fincas, el cual fue convertido a emisiones de GEI empleando un factor de 0.1333 kg CO<sub>2</sub>/KWh (IMN 2014).

### **Emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de la fermentación entérica**

Los rumiantes por su sistema digestivo tan complejo son fuente potencial de emisiones de CH<sub>4</sub> lo que está relacionado directamente con el valor nutritivo de la dieta. El metano se produce en los rumiantes como subproducto de la fermentación entérica, un proceso digestivo en el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples para la absorción en el flujo sanguíneo. La cantidad de metano que se libera va a depender del tipo de tracto digestivo, la edad, el peso del animal, la calidad y cantidad del alimento digerido (IPCC 2006).

### **Factores de emisión de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica de una categoría de ganado**

$$EF = \left[ \frac{GE * \left( \frac{Y_m}{100} \right) * 365}{55,65} \right]$$

Donde:

*EF*: Factor de emisión (kg CH<sub>4</sub>/cabeza/año)

*GE*: Ingesta de energía bruta (MJ/cabeza/año)

$Y_m$ : Factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano. El factor 55,65 (MJ/kg/ CH<sub>4</sub>) es el contenido de energía del metano (**Cuadro 23**).

**Cuadro 22.** Factores de conversión de CH<sub>4</sub> para vacunos/búfalos ( $Y_m$ ).

Categoría de ganado	$Y_m^b$
Vacunos alimentados a corral <sup>a</sup>	3,0% ± 1,0%
Lecheras (vacunos y búfalos) y su progenie	6,5% ± 1,0%
Otros vacunos y búfalos que se alimentan fundamentalmente con desechos y subproductos agrícolas de baja calidad	6,5% ± 1,0%
Otros vacunos o búfalos – en pastoreo	6,5% ± 1,0%

<sup>a</sup> Cuando los animales utilizados contienen un 90% o más concentrados

<sup>b</sup> Los valores ± representan el rango

**Fuente:** (IPCC 2006)

### Emisiones de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol

Las emisiones del N<sub>2</sub>O están relacionadas con el volumen de heces y orina (sólidos y líquidos), producidos por el bovino. Dependiendo del manejo al estiércol, en el caso de los animales cuyo estiércol no se somete a ningún tipo de manejo, se queda en el campo (animales que pastorean libre, alimentación con forraje). Según directrices del IPCC 2006, se denomina este manejo “praderas y pastizales”; este es un sistema que se da dentro de las categorías de suelo agrícola del IPCC, ya que las emisiones van directamente al suelo; sin embargo, se utiliza la misma metodología para el cálculo.

### Tasas de excreción de sólidos volátiles

Los sólidos volátiles (VS) constituyen el material orgánico del estiércol del animal y consisten en fracciones tanto biodegradables como no biodegradables (IPCC 2006).

$$VS = \left[ GE * 1 - \left( \frac{DE\%}{100} \right) + (UE * GE) \right] * \left[ \left( \frac{1 - CENIZA}{18,45} \right) \right]$$

Donde:

VS: Excreción de sólidos volátiles por día con base en materia orgánica seca (kg VS/día)

GE: Ingesta de energía bruta (MJ/cabeza/año)

DE%: Digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%)

(UE\*GE): Energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.

CENIZA: Contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (p. ej., 0,08 para vacunos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de estos.

18,45: Factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ/kg). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.

Todas las emisiones de GEI se expresaron en t CO<sub>2</sub>e, mediante los factores de equivalencia de calentamiento (21 g CO<sub>2</sub>e/g CH<sub>4</sub> y 310 g CO<sub>2</sub>e /g N<sub>2</sub>O; (IPCC 2006)). La emisión total de GEI se estimó como la sumatoria de estos componentes y expresándolas por unidad de área y de tiempo.

### **Intensidad de las emisiones**

Los indicadores funcionales utilizados para la estimación de la presión ambiental del sistema doble propósito en relación con la emisión de GEI fueron: para leche y carne.

$$kg\ CO_2e/kg\ leche = \Sigma CO_2e\ (t) / GPCL$$

Donde:

kg CO<sub>2</sub>e/kg leche: emisiones de kg CO<sub>2</sub>e por cada litro de leche producida

ΣCO<sub>2</sub>e (t): sumatorias de las emisiones del alcance 1 y 2

GPCL: contenido de grasa y proteína corregida por la producción total de leche

Para estimar las emisiones producidas por kg de carne, se tomó en cuenta el total de carne vendida por la finca en un período de un año (2012-2013), básicamente por la venta de animales como terneros al destete, vacas de descarte y toros. Esta metodología ha sido utilizada en estudios realizados por Becoña y Oyhantcabal (2013) en la estimación de la huella de carbono de carne y leche. No se realizó a través de ganancia de peso vivo (GPV), debido a que no se tiene registros sobre la ganancia de peso de los animales presentes en las fincas.

### **Modelo de estimación parcial de GEI en fincas ganaderas**

Con base en los análisis anteriores, se realizó un análisis de regresión múltiple, el cual generó un modelo que permite estimar las emisiones de las fincas en t CO<sub>2</sub>e/ha/año a través de la variable de carga animal (UA/ha), la cual tiene una relación directa en la emisión de GEI. Esto con el fin de poder estimar las emisiones de las fincas como una forma más simple de obtener el valor de las emisiones según las variables y las condiciones presentes en las fincas. Se debe tener en cuenta que este modelo solo se puede utilizar en zonas donde las condiciones de las fincas sean muy similares a las evaluadas por el presente estudio, de lo contrario los resultados no serían confiables a la hora de aplicar el modelo.

### **Relación intensidad de emisiones, productividad y costo marginal por litro de leche**

Basados en la clasificación y el análisis socioeconómico de la base de datos desarrollado por el proyecto FONTAGRO, se seleccionaron las variables que más inciden en la eficiencia del manejo y serán relacionadas con la intensidad de emisiones de GEI producidos en las fincas.

Se han definido los gastos directos de alimentación como la sumatoria de los costos de compra de alimentos y los costos de fertilización de pastos y pastos de corte, utilizados en la alimentación diaria de las vacas en producción (Buza et al. 2014). De esta manera, el costo diario (US\$) de la dieta de las vacas en producción es el resultado del costo del kg de MS ofrecido diariamente a los animales. Para el caso insumos externos, se utilizó el costo del transporte; esto para las dos épocas del año.

Se levantó información sobre costos (fijos y variables) e ingresos de la actividad ganadera para la determinación de los indicadores financieros, como ingreso bruto y margen bruto. Se comparó el costo de producción de un kilogramo de leche entre las diferentes tipologías de fincas para poder observar las diferencias en cuanto a costos incurridos en la producción de un litro de leche. Los análisis estadísticos multivariados aplicados a los datos fueron obtenidos por medio del programa InfoStat versión 2008 (Di Rienzo J. A. *et al.* 2008).

Para conocer la relación que existe entre la productividad de leche y la intensidad de las emisiones, se utilizaron variables ya estandarizadas a kg de leche/ha/año y kg CO<sub>2</sub>e/kg de leche; lo cual permite observar del total de fincas, cuáles de las fincas evaluadas se encuentran con una mayor productividad y con una baja intensidad de emisiones.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características generales de fincas ganaderas**

En las fincas, el sistema de producción predominante es el doble propósito<sup>2</sup>, con enfoques de cría y desarrollo; el 5,6 % de los productores tienen un manejo semiestabulado del hato de ordeño, mientras el 94,4 % orientado al manejo a libre pastoreo. Los ganaderos poseen en sus fincas en promedio 1 toro, 14 vacas paridas, 10 vacas secas, 5 novillas mayores de 2 años, 6 novillas entre edades de 1 a 2 años utilizadas como reemplazo, 10 terneras de 0 a 1 año, 2 novillos entre 1 a 2 años, 1 novillos mayores a 2 años destinados para desarrollo y 8 terneros de 0 a 1 año. La composición diversa del hato refleja que los objetivos del ganadero están orientados a generar diferentes ingresos en el año, lo que garantiza cierta sostenibilidad de las fincas ganaderas y, por ende, el flujo de caja diaria mediante la venta de la leche obtenida de las vacas paridas y el ingreso temporal por la venta de terneros o novillos, que le permiten resolver necesidades de mayor costo. Además, la diversidad y los cruces de diferentes razas en las fincas demuestran que el enfoque de producción es doble propósito, las razas o cruces más comunes son: Holstein, Jersey, Pardo, Brahman y Gyr, y

---

<sup>2</sup> En las fincas los animales machos son criados para la venta “sacrificio” y las hembras son para producción de leche, de ellas las que tienen aproximadamente 7 años de edad son vendidas para sacrificio.

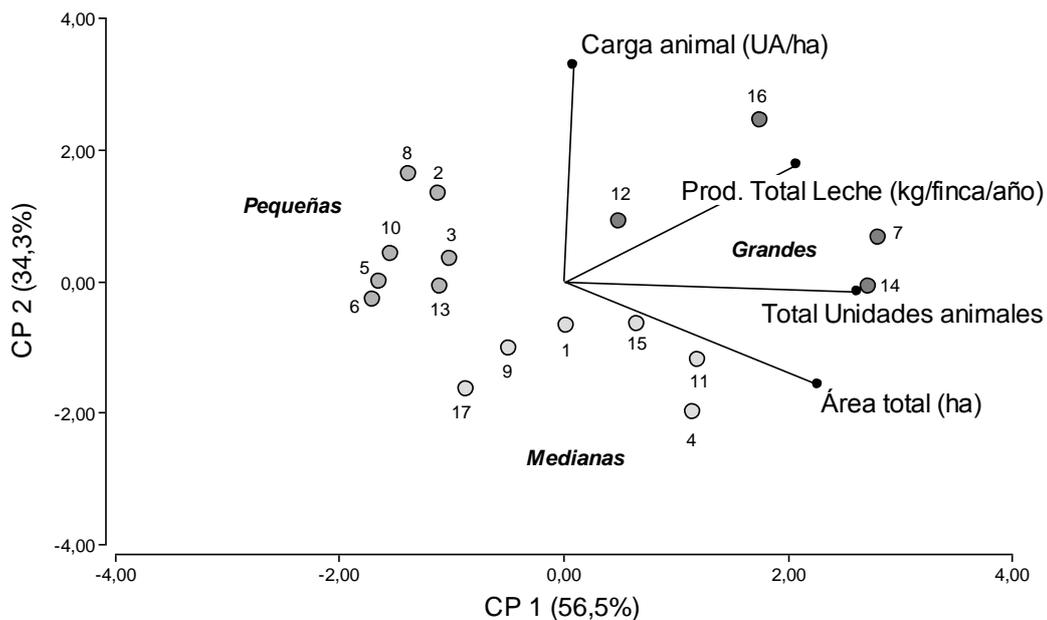
cruces entre estos. Las fincas presentan en promedio una carga animal de 1,7 UA/ha con un total de unidades animales promedio de 41,06 UA.

Entre los usos de suelo presentes en las fincas, el uso con mayor área fue el dedicado a pasturas con un 78,23% del área total. Las áreas de bosque presentadas por las fincas representan un 12,31% dividido entre usos presentes como plantaciones forestales, tacotales, ribereños y bosque secundario con un 0,67%, 1,38%, 3,70% y 6,56% respectivamente y con un enfoque de conservación por parte de los productores ganaderos, ya que el promedio de áreas destinadas a la protección (bosques secundarios, riparios y tacotales) es de un rango de 0 a 20 ha, el área destinada a bancos de forraje presenta un 2,61% del área total con un 2,50% para bancos forrajeros de gramíneas y 0,10% para bancos forrajeros de leñosas, para cultivos anuales y perennes se encontró un 0% y 2,03% respectivamente y para otros usos como la parte de infraestructura y caminos representando el 6% del área total, dato que es muy similar al reportado por estudios anteriores realizados en la cuenca del río Jesús María (Torres *et al.* 2014).

Las fincas presentan un área promedio de 30,27 ha, indicando que son unidades de producción con áreas representativas de la zona, se destinan en su mayoría a la actividad ganadera (94,4%).

### **Clasificación de las fincas según grupos**

El agrupamiento de fincas identificó tres grupos, los cuales fueron caracterizados de acuerdo con el análisis de componentes principales realizado con variables como el total de unidades animales, carga animal, producción y área total; el cual permitió observar las relaciones entre variables, de variables con las observaciones y entre observaciones explicando un 90.8% de la variabilidad (**Figura 13**).



**Figura 13.** Análisis de componentes principales en función de la carga animal (UA/ha), producción total de leche (kg/finca/año), total de unidades animales y área total (ha) en relación con las fincas seleccionadas.

A través del análisis anterior, se logró obtener tres grupos de fincas: grandes, medianas y pequeñas; las cuales presentaron diferentes características de acuerdo con las variables empleadas, donde las fincas grandes y medianas poseen una mayor área total, un mayor área de bancos forrajeros en fincas grandes a parte de una mayor suplementación, mayor número de animales y mayor número de vacas en producción que los demás grupos de fincas a excepción de las fincas medianas que poseen un mayor área de pastoreo, similar a fincas grandes, debido a que alquilan otras áreas de pasturas para el mantenimiento de sus animales, utilizan menos concentrado y se observó una mayor producción de leche y carne por área en fincas grandes y pequeñas que en fincas medianas (**Cuadro 24**).

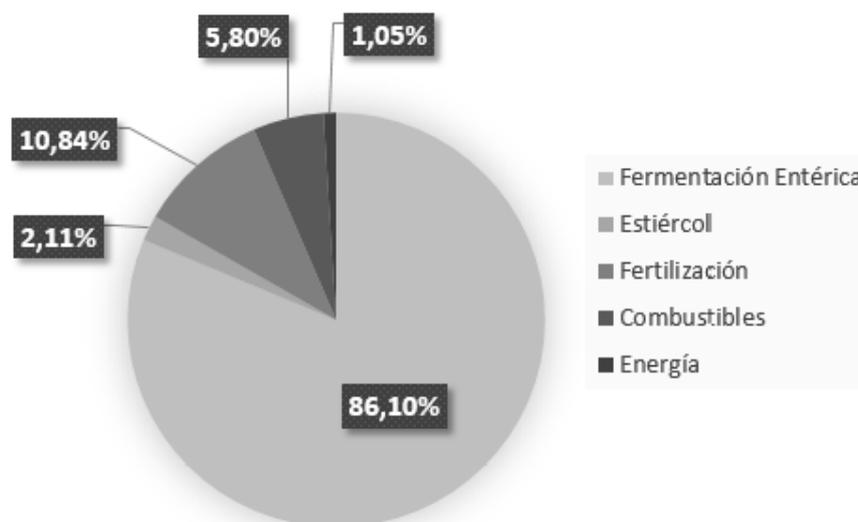
**Cuadro 23.** Características productivas de fincas ganaderas doble propósito por grupo.

	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
<b>Área total (ha)</b>	44,27±9,25 a	42,75±4,41 a	11,60±1,11 b
<b>Área de pastoreo (ha)</b>	34,09±7,53 a	42,19±4,74 a	10,54±1,68 b
<b>Área de bancos forrajeros (ha)</b>	1,71±0,45 b	0,49±0,13 a	0,30±0,12 a
<b>Área de bosque (ha)</b>	7,00±3,78 a	7,42±3,25 a	1,14±0,60 b
<b>Tipo de alimentación</b>	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos y proteínicos, pacas, concentrados, afrecho de cebada, cascarilla de soya, semolina, cerdaza, gallinaza, pollinaza, miel, sal y minerales	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos y proteínicos, concentrados, semolina, gallinaza, miel, sal y minerales	Pastoreo, bancos forrajeros energéticos, concentrados, gallinaza, miel, sal y minerales
<b>Concentrado (kg/UA)</b>	2,80±1,24 b	0,49±0,21 a	1,23±0,47 ab
<b>Total hato</b>	105±12,73 a	66,83±8,71 b	27,43±4,27 c
<b>Carga animal (UA/ha)</b>	2,17±0,23 b	1,09±0,09 a	1,96±0,19 a
<b>Vacas en producción</b>	23,75±4,11 a	15,33±1,74 a	9,14±0,86 b
<b>Producción de leche (kg/ha/año)</b>	3335,40±987,18 b	796,74±140,26 a	2675,41±802,79 b
<b>Producción de carne (kg/ha/año)</b>	221,91±69,40 b	97,03±15,92 a	117,60±20,95 b

Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según prueba Kruskal-Wallis

## Emisiones de GEI en fincas ganaderas

El mayor grado de emisiones de GEI en las fincas proviene de la fermentación entérica que se produce a partir del proceso digestivo del animal, en el cual se pierde parte de la energía alimenticia en forma de gas, en vez de ser aprovechado y transformado en leche o carne (Hassan *et al.* 2011); seguido por estiércol, fertilización, combustibles y energía (**Figura 14**).



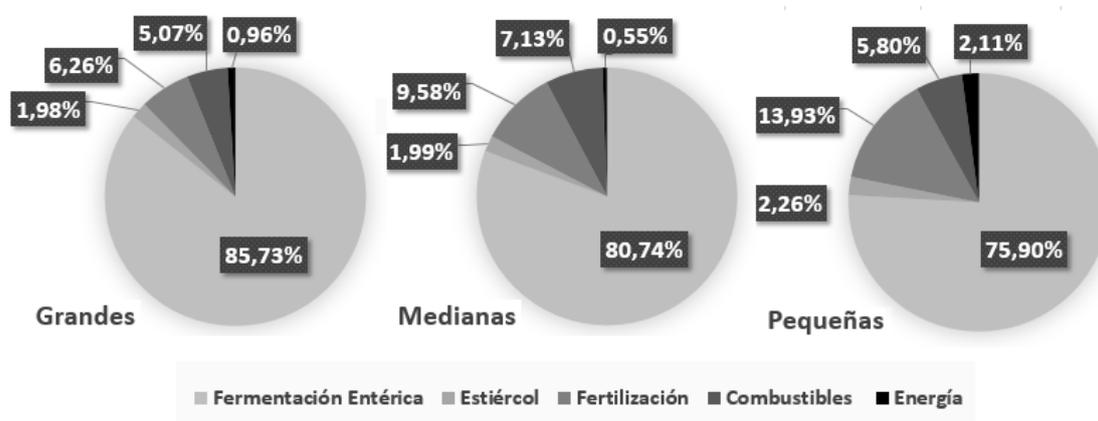
**Figura 14.** Composición de las emisiones de GEI en 17 fincas ganaderas con sistemas de producción doble propósito pertenecientes a la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

Se registró un total de 1398,95t CO<sub>2</sub>e/año, que se distribuye en un área de 514,75 ha (área propia de las fincas) y 70,3 ha (áreas alquiladas) para un total de 585,05 ha, atribuido a un total de 1007 animales más las actividades de manejo y mantenimiento de la finca. Las emisiones totales promedio se distribuyeron entre fermentación entérica, estiércol, fertilización, combustibles y energía con valores de 67,02; 1,64; 8,42; 4,51 y 0,81 t CO<sub>2</sub>e/año respectivamente. Las emisiones totales generadas por hectárea por año en las fincas muestran un valor promedio de 3,36 t CO<sub>2</sub>e/ha/año en un área de finca promedio de 30 ha. Cárdenas (2014) también obtuvo valores menores a los del presente trabajo, con sistemas doble propósito en la región Chorotega, Costa Rica, fincas con y sin pago por servicios ambientales (psa), con resultados de 1,14 t CO<sub>2</sub>e/ha/año y 2,61 t CO<sub>2</sub>e/ha/año respectivamente, datos inferiores al presentar una menor carga animal (1,5 UA/ha).

Datos similares se obtuvieron en estudios realizados en Hojanca, Costa Rica (Ibrahim *et al.* 2013), donde las fincas con sistemas doble propósito emitieron un promedio de 5,15 t CO<sub>2</sub>e/ha/año, dato mayor al obtenido en el presente estudio debido a una mayor carga animal (1,73 UA/ha) comparada con las fincas del presente estudio (1,70 UA/ha), también debido a una menor área (21,4 ha) y a las diferentes dietas de alimentación utilizadas. Datos semejantes presenta Hassan *et al.* (2011), en Panamá, en sistemas doble propósito con sistemas de manejo tradicional y mejorado, se encuentran valores de 2,22 y 4,22 t CO<sub>2</sub>e/ha/año respectivamente, con áreas de pastoreo de 25,6 y 16,16 ha.

La proporción de emisiones según grupos (grandes, medianas y pequeñas) presentó la misma tendencia, la cual varió respecto a la carga animal, los insumos agroquímicos y el tipo de alimentación que manejan en las fincas y la fertilización (**Figura 15**).

Las emisiones para los grupos de fincas identificadas como grandes, medianas y pequeñas mostraron valores promedio de 139,48; 91,43 y 42,03 t CO<sub>2</sub>e/año respectivamente, siendo el mayor emisor el grupo de fincas grandes y con emisiones por hectárea/año promedio de 4,40; 2,16 y 4,27 t CO<sub>2</sub>e/ha/año respectivamente para los grupos de fincas. Las emisiones por hectárea en fincas medianas fueron menores, dado que estas fincas poseen un área de pastoreo similar a las fincas grandes al alquilar más área de pastoreo; obteniendo menores emisiones totales por finca que el grupo de fincas grandes, lo que resulta que sean menores las emisiones por área en este grupo. (**Cuadro 25**).



**Figura 15.** Composición de las emisiones de GEI en los sistemas de producción ganaderos doble propósito según grupos identificados de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

**Cuadro 24.** Emisión de GEI totales por tamaño de fincas con producción doble propósito en la cuenca del río Jesús María.

Grupos	Grandes	Medianas	Pequeñas
<b>Emisiones totales en las fincas t CO<sub>2</sub>e/año</b>	139,48±16,75 b	95,95±13,95 b	42,03±3,94 a
<b>Intensidad de emisiones por unidad de superficie t CO<sub>2</sub>e/ha/año</b>	4,40±0,62 a	2,16±0,21 b	4,27±0,43 a
Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis			

Las emisiones de GEI totales según época para los grupos de fincas presentaron valores mayores en época seca que en lluviosa, esto se debe a que hay un mayor consumo de suplementos por la disminución de forrajes con bajas características nutricionales, a parte de un mayor estrés en los animales debido a la falta de agua, donde las fincas grandes presentaron las mayores emisiones que en los demás grupos (**Cuadro 26**). Sin embargo, al estimar las emisiones por ha, se evidenció que las fincas medianas mostraron valores menores a los demás grupos de fincas por la acotación anterior de que estas fincas alquilan más área de pastoreo para el manejo de un mayor número de animales y para su mantenimiento, por lo que las emisiones por área son menores; mientras que en fincas grandes y pequeñas no hubo diferencias significativas, pero se evidencia que tuvieron mayores emisiones por área que las fincas medianas (**Cuadro 26**).

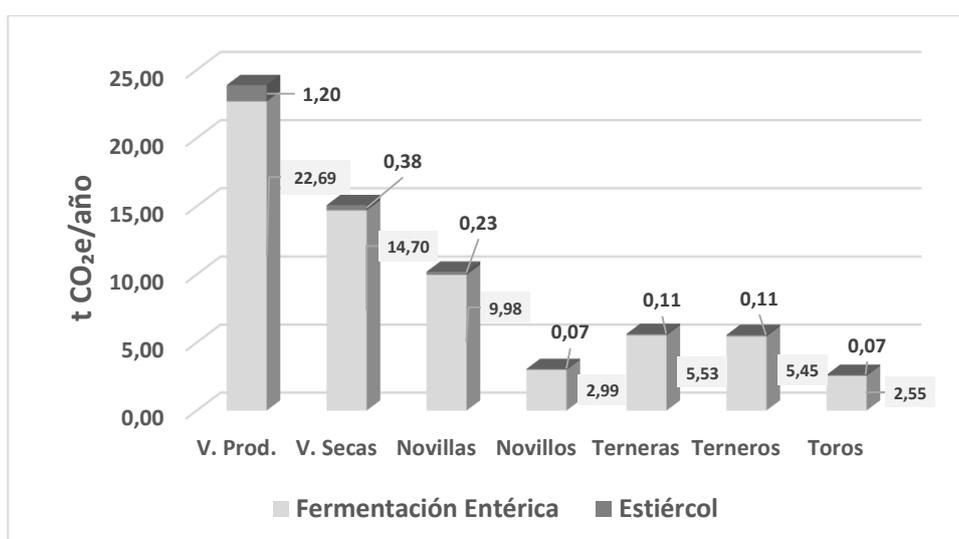
**Cuadro 25.** Emisión de GEI totales según época por tamaño de fincas con producción doble propósito en la cuenca del río Jesús María.

	Época Seca	Época Lluviosa
<b>t CO<sub>2</sub>e/año</b>		
<b>Grandes</b>	81,36±6,16 c	58,12±5,83 c
<b>Medianas</b>	53,17±6,66 b	37,98±4,76 b
<b>Pequeñas</b>	24,52±6,17 a	17,51±4,40 a
<b>t CO<sub>2</sub>e/ha/año</b>		
<b>Grandes</b>	2,57±0,29 b	1,83±0,21 b
<b>Medianas</b>	1,24±0,24 a	0,90±0,17 a
<b>Pequeñas</b>	2,49±0,22 b	1,78±0,16 b
Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis		

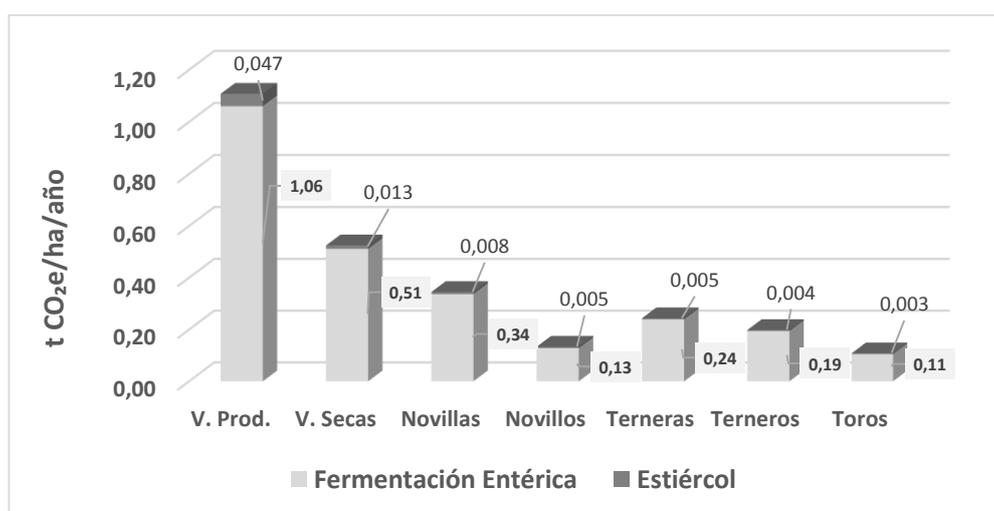
## Emisiones debidas al manejo del hato ganadero

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 (Cederbeg *et al.* 2013). Por lo cual, la composición y la 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 comprende el mayor porcentaje con valores entre el 70 y 80% de las emisiones totales (Gerber *et al.* 2013).

Las emisiones reportadas por las fincas, según categoría de hato, presentan valores promedios de emisión por finca/año y por finca/ha/año (**Figura 16 y 17**). Reportando para vacas en producción, vacas secas, novillas, terneras y terneros emisiones significativas; dado que en las fincas se procura dejar la mayoría de hembras para reemplazo, así como terneros hasta el destete como ingresos extras; novillos y toros no presentaron emisiones significativas dado que no se encuentran en gran cantidad en las fincas. Estudios realizados por Hassan *et al.* (2011) muestran resultados similares en cuanto a las emisiones por categoría, siendo las mayores emisoras vacas en producción y vacas secas con 26,39 y 19,31 t CO<sub>2</sub>e/año respectivamente.



**Figura 16.** Emisiones de GEI generales por fermentación entérica y estiércol en t CO<sub>2</sub>e/año por categorías de hato en fincas ganaderas doble propósito de la cuenca del río Jesús María.



**Figura 17.** Emisiones de GEI generales por fermentación entérica y estiércol en t CO<sub>2</sub>e/ha/año por categorías etarias en fincas ganaderas doble propósito de la cuenca del río Jesús María.

Dentro de los grupos de fincas, la categoría que no presentó diferencias significativas fue la de novillos; debido a que no son muy utilizados comúnmente por los productores dentro de los sistemas de producción por la preferencia de hembras para la producción de leche. Caso contrario con las demás categorías que sí presentaron diferencias (**Cuadro 27**); ya que los productores alimentan con suplementos concentrados, bancos forrajeros de energía y proteína, así como de otros suplementos, con el fin de mejorar la productividad de leche.

La mayor emisión de GEI en el manejo de los animales se registró en las fincas grandes; mientras que la menor emisión se dio en fincas pequeñas. Esto puede estar relacionado con la dieta de los animales que en fincas grandes y medianas tiene una mayor disponibilidad de alimentos; mientras que en fincas pequeñas el aporte de concentrados, así como de otros suplementos es muy poco, por lo que se obtiene menores emisiones. Cabe resaltar que de las emisiones producidas en fincas medianas, la mayor emisión se proviene de vacas secas, dado que hay un mayor número de estas en este grupo de fincas, por lo que este es un punto crítico en el cual se puede reducir las emisiones disminuyendo el número de vacas secas y aumentando el número de vacas en producción o mejorando la genética de vacas en producción.

**Cuadro 26.** Emisión de GEI por efecto del manejo del hato ganadero de fincas ganaderas doble propósito en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/año)</b>	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
Vacas en producción	42,53±10,73 b	19,49±2,03 ab	14,10±2,30 a
Vacas secas	23,46±8,68 b	19,93±4,30 b	5,21±1,02 a
Novillas	18,33±2,47 b	13,17±3,45 b	2,47±0,70 a
Novillos	5,67±2,75	1,67±1,72	2,60±2,60
Terneras	8,92±1,30 b	6,18±0,88 b	3,04±0,60 a
Terneros	11,89±2,22 b	5,56±0,68 b	1,69±0,38 a
Toros	3,98±1,21 b	3,03±0,78 b	1,34±0,30 a
Total de animales	114,78±27,36 b	69,03±11,84 b	30,45±7,90 a

<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/ha/año)</b>	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
Vacas en producción	1,33±0,39 b	0,46±0,06 a	1,42±0,20 b
Vacas secas	0,68±0,19	0,39±0,06	0,52±0,09
Novillas	0,58±0,05 b	0,26±0,07 a	0,26±0,08 a
Novillos	0,24±0,13	0,04±0,02	0,14±0,14
Terneras	0,29±0,06 b	0,14±0,03 a	0,30±0,05 b
Terneros	0,37±0,07 b	0,12±0,02 a	0,16±0,03 a
Toros	0,14±0,03 a	0,06±0,01 b	0,13±0,03 a
Total de animales	4,40±0,62 a	2,16±0,21 b	4,27±0,43 a

Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis

En contraste, las emisiones de GEI por la gestión del estiércol presentaron diferencias significativas según grupo de fincas (**Cuadro 28**), donde las fincas grandes presentan una mayor emisión; lo cual muestra diferencias en las categorías de vacas en producción, en novillas, en terneras y terneros; situación que está muy relacionada con la suplementación y la carga animal. Este producto (estiércol) es aprovechado por los productores solo como fuente de fertilización y no para el desarrollo de otros insumos en las fincas, como uso de biodigestores, lombricompost, entre otros. Esto orienta a desarrollar acciones necesarias para el mejoramiento de la gestión del estiércol en las fincas ganaderas en el área de estudio.

**Cuadro 27.** Emisión de GEI por efecto de la gestión del estiércol en fincas ganaderas doble propósito en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/año)</b>	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
Vacas en producción	2,54±0,89 b	1,12±0,19 ab	0,50±0,08 a
Vacas secas	0,62±0,24 b	0,52±0,12 b	0,13±0,03 a
Novillas	0,42±0,06 b	0,30±0,08 b	0,06±0,02 a
Novillos	0,13±0,07 a	0,04±0,02 a	0,06±0,06 a
Ternereras	0,17±0,02 b	0,12±0,02 b	0,06±0,01 a
Terberos	0,24±0,05 b	0,11±0,01 b	0,03±0,01 a
Toros	0,12±0,04 b	0,09±0,02 b	0,04±0,01 a
Total de animales	4,24±1,37 a	2,3±0,46 b	0,88±0,22 c
<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/ha/año)</b>	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
Vacas en producción	0,07±0,02 b	0,03±0,0049 ab	0,05±0,01 a
Vacas secas	0,02±0,0048 a	0,01±0,00 a	0,02±0,0020 a
Novillas	0,01±0,0025 a	0,01±0,0021 a	0,01±0,0020 a
Novillos	0,01±0,01 a	0,01±0,0022 a	0,0029±0,0018 a
Ternereras	0,0025±0,0025 b	0,0017±0,0017 a	0,01±0,0020 a
Terberos	0,01±0,0025 b	0,00±0,00 a	0,0014±0,0014 a
Toros	0,01±0,0029 a	0,00±0,00 a	0,0029±0,0018 a
Total de animales	0,13±0,04 a	0,062±0,011 b	0,09±0,02 b

Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis

### **Emisiones de GEI debido al manejo del hato ganadero según época climática**

Las emisiones de metano entérico y metano generado por la gestión del estiércol presentaron valores más altos en época seca (**Cuadro 29**), lo cual puede estar relacionado con el manejo de pasturas, ya que durante la época seca se somete a sobrepastoreo y no se hace uso de fertilizantes, ni herbicidas para el manejo de los pastos.

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), (Ibrahim *et al.* 2013), (Hassan *et al.* 2011). Por lo cual las emisiones tienden a ser mayores en época seca que en época lluviosa. Esto se relaciona con 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, acompañado de prácticas que aumenten el capital natural del sistema productivo.

En términos generales, los procesos fisiológicos que presentan la mayor intensidad de emisiones de GEI en sistemas ganaderos en pastoreo son la fermentación entérica y la deposición de los residuos sólidos y líquidos, bien sea directamente por los animales o cuando se acumulan y luego se aplican al suelo (Romero 2009).

**Cuadro 28.** Emisión de GEI por el manejo del ganado en fincas ganaderas doble propósito en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica, según época climática.

<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/año)</b>	<b>Seca</b>	<b>Lluviosa</b>
Vacas en producción	12,11±1,98 a	9,89±1,75 a
Vacas secas	9,97±2,03 a	6,88±1,75 b
Novillas	5,42±1,10 a	5,07±1,06 a
Novillos	2,07±0,72 a	0,89±0,52 b
Terneras	3,57±0,50 a	2,21±0,28 a
Terneros	3,39±0,61 a	2,21±0,55 a
Toros	1,44±0,25 a	1,20±0,23 a
Total de animales	37,97±7,19 a	28,35±6,14 b
<b>Emisiones del hato (t CO<sub>2</sub>e/ha/año)</b>	<b>Seca</b>	<b>Lluviosa</b>
Vacas en producción	0,55±0,08 a	0,45±0,08 a
Vacas secas	0,31±0,04 a	0,19±0,03 a
Novillas	0,17±0,03 a	0,16±0,02 a
Novillos	0,08±0,04 a	0,04±0,03 a
Terneras	0,14±0,02 a	0,09±0,01 a
Terneros	0,11±0,02 a	0,07±0,02 a
Toros	0,05±0,01 a	0,05±0,01 a
Total de animales	1,41±0,24 a	1,05±0,17 a

Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis

### **Emisiones por uso de combustibles**

El uso de combustibles fósiles está destinado principalmente para los vehículos, y maquinaria menor utilizada en las fincas para las actividades de manejo y mantenimiento

de la finca. A partir de esta fuente de emisión, el insumo que generó la mayor emisión de GEI fueron los combustibles por transporte (**Cuadro 30**). Siendo el diésel el combustible más utilizado por las fincas y el de mayor emisión según los combustibles utilizados, debido a que la mayoría de los productores posee vehículos que dependen del diésel (**Figura 18**). El consumo de combustibles fósiles en las fincas es muy similar durante todo el año; sin embargo, al compararlo por consumo por hectárea, no hubo diferencias significativas, por lo que las emisiones por ha fueron muy similares. El uso de energía en las fincas corresponde mayormente a la electricidad, siendo más alta la emisión en fincas grandes que los otros grupos de fincas; no obstante, al compararlos por unidad de área, las fincas pequeñas tienen la mayor emisión por electricidad que los demás grupos de fincas.

**Cuadro 29.** Emisión de GEI por consumo de combustibles fósiles en las fincas ganaderas doble propósito de la cuenca del río Jesús María.

Combustibles	Grandes	Medianas	Pequeñas
<b>Emisiones totales (t CO<sub>2</sub>e/año)</b>			
Diésel	5,41±1,43 a	4,31±1,47 a	1,53±0,68 b
Gasolina	1,87±0,85 a	1,17±0,44 a	0,56±0,20 a
Energía eléctrica	1,21±0,32 a	0,50±0,09 a	0,86±0,50 a
<b>Total de combustibles</b>	8,49±2,60 a	5,98±2 ab	2,95±1,38 b
<b>Emisiones por hectárea (t CO<sub>2</sub>e/ha/año)</b>			
Diésel	0,15±0,02 a	0,11±0,04 a	0,20±0,09 a
Gasolina	0,05±0,02 a	0,03±0,01 a	0,06±0,02 a
Energía eléctrica	0,05±0,02 a	0,01±0,0017 ab	0,11±0,07 b
<b>Total de combustibles</b>	0,25±0,06 a	0,15±0,0517 a	0,37±0,18 a
Valores corresponden a las medias ± error estándar. letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis			

### Emisiones debido al uso de combustibles por época

En las fincas, el uso de combustibles fósiles fue similar en época seca que en época lluviosa; debido a que no presentaron diferencias en cuanto a las emisiones por área generadas en este rubro (**Cuadro 31**). Estas emisiones provienen principalmente de las actividades para mantenimiento de la finca, principalmente la reducción de plantas no deseadas, para la

alimentación animal, aplicación de insumos en los diferentes usos presentes en las fincas y el transporte de insumos.

**Cuadro 30.** Emisión de GEI por consumo de combustibles fósiles en fincas ganaderas doble propósito inmersas en la cuenca del río Jesús María.

<b>Combustibles (t CO<sub>2</sub>e/época)</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>
Diésel	1,96±0,42 a	1,40±0,30 a
Gasolina	0,61±0,15 a	0,44±0,11 a
Energía eléctrica	0,48±0,12 a	0,34±0,04 a
<b>Total de combustibles</b>	<b>3,05±0,69 a</b>	<b>2,18±0,5 a</b>
Valores corresponden a las medias ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis		

### **Emisiones debido a fertilizantes**

Con respecto al uso de fertilizantes nitrogenados, el 72% de los productores informó que no aplican fertilizantes a las pasturas y un 28% realiza esta práctica. Con respecto a la fertilización de los bancos forrajeros, pasturas, frutales, así como cultivos anuales lo realizan en algunas ocasiones con las excretas de los animales, siendo el 83% de los productores que sí realiza este manejo.

No se detectaron diferencias significativas en las emisiones causadas por fertilizantes en los grupos de fincas; no obstante, por el transporte de estos insumos nitrogenados, las fincas pequeñas presentaron menores emisiones que los demás grupos debido a la poca fertilización por parte de este grupo de fincas. El fertilizante con mayor emisión fue el estiércol aplicado a los usos de suelo con un valor promedio de 4,67 t CO<sub>2</sub>e/año. En las fincas evaluadas, se realizan las actividades de fertilización durante la época lluviosa. Al comparar los grupos, las fincas grandes son las que más emplean insumos agroquímicos para el manejo de la finca, emitiendo un promedio de 0,59 t CO<sub>2</sub>e/ha/año en comparación con las medianas y pequeñas 0,09 y 0,01 t CO<sub>2</sub>e/ha/año. La fertilización a base de residuos orgánicos como estiércol fue similar en los tres grupos de fincas, siendo el fertilizante orgánico el mayor emisor en los grupos de fincas evaluadas (**Cuadro 32**).

**Cuadro 31.** Emisión de GEI por efecto de fertilizantes nitrogenados y por su compra y almacenamiento de estos insumos en fincas ganaderas doble propósito en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica.

<b>Fertilizantes (t CO<sub>2</sub>e/año)</b>	<b>Grandes</b>	<b>Medianas</b>	<b>Pequeñas</b>
Urea N <sub>2</sub> O	0,83±0,66 a	0,55±0,55 a	0,11±0,11 a
Fertilizantes N <sub>2</sub> O	0,22±0,22 a	0,45±0,45 a	-
Lombricompost N <sub>2</sub> O	3,83±1,48 a	5,60±3,15 a	4,57±1,59 a
<b>Emisiones transporte, almacenamiento de compra de insumos agroquímicos</b>			
Urea N <sub>2</sub> O	1,55±1,04 a	1,33±1,33 a	0,17±0,17 b
<b>Total de fertilizantes</b>	<b>6,43±3,82 a</b>	<b>7,93±3,35 a</b>	<b>4,85±2,42 a</b>
<b>Fertilizantes (t CO<sub>2</sub>e/ha/año)</b>			
Urea N <sub>2</sub> O	0,44±0,33 a	0,05±0,05 a	0,01±0,01 a
Fertilizantes N <sub>2</sub> O	0,15±0,15 a	0,04±0,04 a	-
Lombricompost N <sub>2</sub> O	0,66±0,10 a	0,33±0,14 a	0,58±0,23 a
<b>Emisiones transporte, almacenamiento de compra de insumos agroquímicos</b>			
Urea N <sub>2</sub> O	0,85±0,53 a	0,13±0,13 b	0,02±0,02 b
<b>Total de fertilizantes</b>	<b>2,1±1,11 a</b>	<b>0,55±0,36 b</b>	<b>0,61±0,26 b</b>

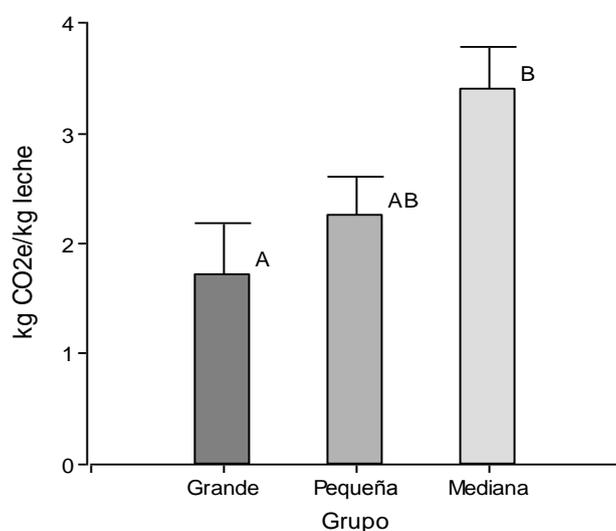
Valores corresponden a las medias ± error estándar. letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Kruskal-Wallis

### **Intensidad de las emisiones en fincas ganaderas doble propósito**

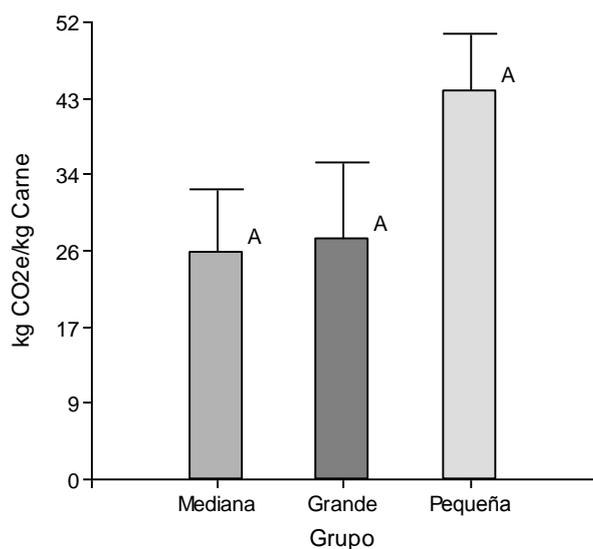
En producción de leche, se encontró una emisión neta entre 0,81 a 4,83 kg CO<sub>2</sub>e /kg leche producida en las fincas con un promedio de 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg de leche. Los resultados del presente estudio son mayores a los encontrados por el programa GAMMA (2010) en la zona de Guanacaste, Costa Rica, en sistemas de producción de doble propósito, donde se encontró una emisión de 1,28 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche. Por otro lado, Hassan *et al.* (2011), en Panamá, reporta resultados de 1,35 y 3 kg CO<sub>2</sub>e/kg de leche para fincas con manejo mejorado y tradicional respectivamente. La emisión de GEI por kilo de leche fue mayor en fincas medianas y pequeñas 2,97 y 1,97 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche que en fincas grandes 1,50 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche; esto debido a que hay una mayor producción de leche en fincas grandes, por lo que las emisiones son menores que los demás grupos (**Figura 18**).

Mientras que la emisión de GEI por kilogramo de carne varió entre 9,60 a 69,79 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne con un promedio de 33,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne, siendo las fincas pequeñas las mayores emisoras por kg de carne producida 43,70 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne que las fincas grandes y medianas 26,98 y 25,47 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne respectivamente. Esta diferencia se

debe a que los productores pequeños se enfocan más en la producción de leche que de carne (venta de pocos animales) (**Figura 19**). Los resultados del presente estudio fueron mayores a los encontrados por el programa GAMMA (2010) en la zona de Guanacaste, Costa Rica, en sistemas de producción de doble propósito, donde se encontró una emisión 13 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne. Hassan *et al.* (2011) muestran valores de 16,94 y 10,57 kg CO<sub>2</sub>e/kg carne en fincas con manejo tradicional y mejorado. Estas diferencias se deben principalmente a que hay una menor producción de leche y carne (venta de animales), lo que provoca un aumento en las emisiones por producto. Entre los grupos evaluados, se encontró que en fincas grandes al poseer un mayor nivel tecnológico (incremento de la carga animal, mayor suplementación, mejor genética de los animales, pastoreo racional) contribuye a disminuir las emisiones de GEI por unidad de producción siendo más eficientes; caso contrario sucede con las fincas medianas y pequeñas que mostraron mayores emisiones por producto generado, siendo menos eficientes. Por lo tanto, asegurar animales más productivos y fértiles, y la adopción de sistemas de manejo que garanticen una buena utilización del alimento surgen como alternativas para la reducción de las emisiones por unidad de producto (Waghorn 2011; Hristov *et al.* 2013 a y b).

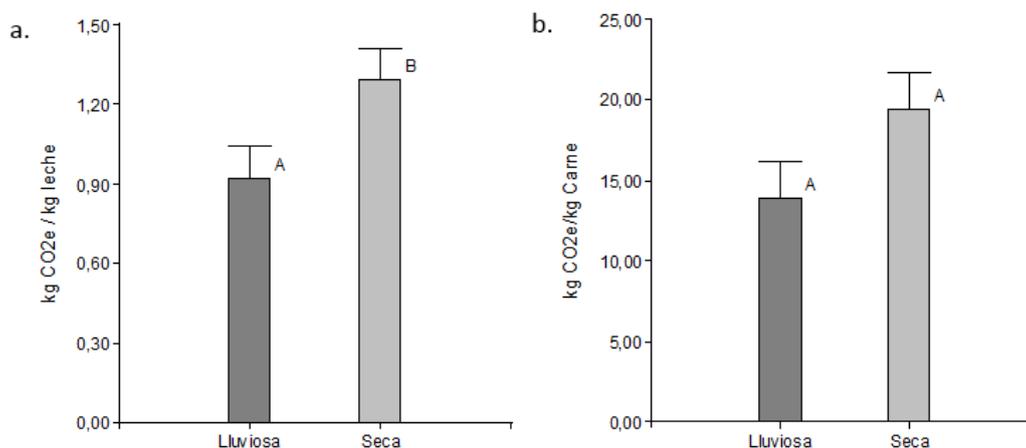


**Figura 18.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e para la producción de leche en fincas doble propósito según grupos en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica. Las barras corresponden a medias y error estándar. Letras diferentes indican diferencias ( $p < 0,05$ ) según Tukey



**Figura 19.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e por kg de carne en fincas doble propósito según grupos en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica. Las barras corresponden a medias y error estándar. Letras diferentes indican diferencias ( $p < 0,05$ ) según Tukey.

Al comparar la emisión de carbono por kilo de leche, según la época climática (seca-lluviosa), se evidenció que las emisiones durante la época seca son mayores (**Figura 20 a.**); esto está asociado a que los productores tienen muy baja disponibilidad de alimento, por lo cual recurren a otros suplementos bajos en calidad nutricional, lo que aumenta las emisiones por fermentación entérica que varió entre 0,48 a 1,90 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche en época seca con un promedio de 1,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche y para época lluviosa estuvo entre 0,34 a 1,36 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche, con un promedio de 0,87 kg CO<sub>2</sub>e/kg leche. A diferencia de la emisión de GEI por kg de carne que varió en época seca entre 5,60 a 31,46 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne, con un promedio de 18,79 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne y para época lluviosa entre 4 a 22,47 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne, con un promedio de 13,42 kg CO<sub>2</sub>e/kg de carne (**Figura 20 b**). Estos resultados están directamente relacionados con el manejo de la carga animal, el cual es mayor durante la época lluviosa.



**Figura 20. a.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e por kg de leche y **b.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e por kg carne generado en fincas doble propósito según época climática en la cuenca del río Jesús María, Costa Rica. Letras diferentes indican diferencias ( $p < 0,05$ ) según Tukey.

### Factores que influyen en la emisión en fincas ganaderas

En los sistemas de producción analizados, la variable que más incide en las emisiones está relacionada con la carga animal; la cual presentó un rango entre 0,74 y 2,76 UA/ha, evidenciando que esta variable influye con el 74% de las emisiones totales de las fincas. Ante este escenario, se planteó el siguiente modelo para poder estimar las emisiones de una manera indirecta solo teniendo en cuenta esta variable, con el siguiente modelo.

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e (t/ha/año)} = 0.25 + (1.88 * C.A.)$$

Donde:

C. A.: Carga animal (UA/ha).

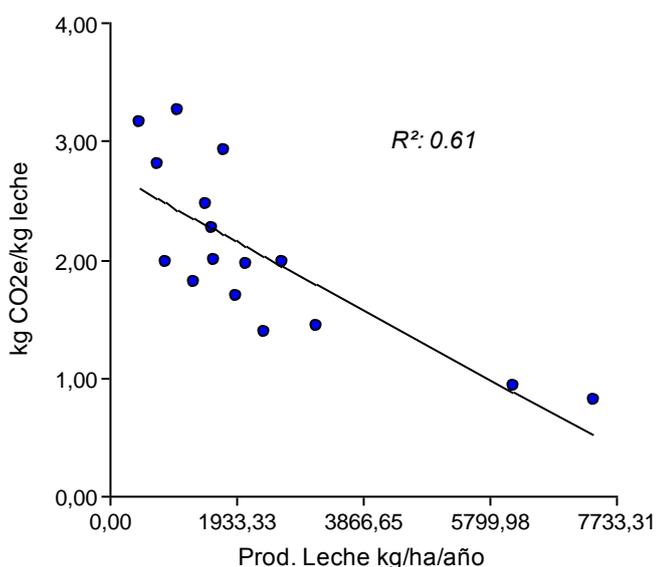
Los rangos de las emisiones se calcularon a partir de ecuaciones generadas a través de los límites inferior y superior, las cuales aseguran con un 95% de confianza el rango de emisiones en t CO<sub>2</sub>e/ha/año en las que se puede encontrar una finca a través de las siguientes ecuaciones:

$$Li = -0.89 + (1.27 * C.A.)$$

$$Ls = 1.39 + (2.49 * C.A.)$$



Por lo tanto, si se mejora el manejo en estos dos aspectos, se puede aumentar la carga animal; teniendo una mayor productividad y rentabilidad asociada a una reducción de las emisiones de GEI por unidad producida. Como se evidencia en la **Figura 22**, a medida que se incrementa la producción de leche, se reducen las emisiones por unidad de producto, donde el mejoramiento de las estrategias de alimentación son un factor clave a la hora de reducir las emisiones (Gerber *et al.* 2013). Lo anterior puede estar relacionado con que las fincas con mejores prácticas de manejo como el mejoramiento de la dieta, la implementación de pasturas mejoradas, pastoreo racional, bancos forrajeros energéticos y proteínicos, uso de suplementos de alta calidad nutricional, razas más productivas y adecuadas a la región (genética), entre otros, favorecen a mejorar la productividad, así como la rentabilidad (Cottle *et al.* 2011).

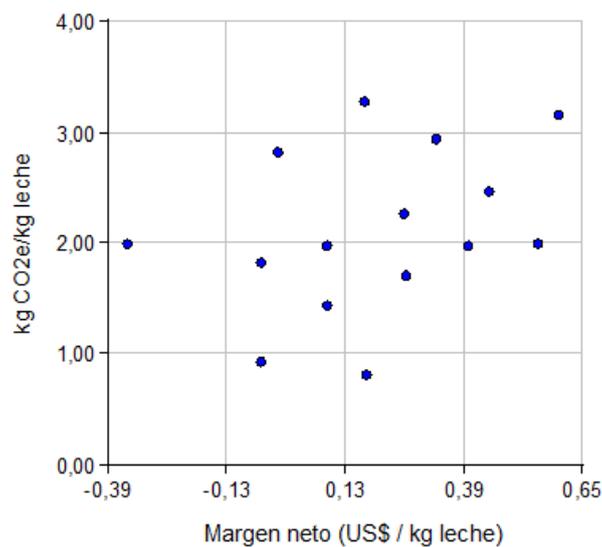


**Figura 22.** Relación entre la productividad y la intensidad de las emisiones de fincas ganaderas doble propósito de la cuenca del río Jesús María.

Al comparar la relación entre los ingresos por unidad de producto y la intensidad de emisiones por unidad de producto (**Figura 23**), no se encontró ninguna relación entre estas variables; sin embargo, esto puede estar influenciado por los costos fijos y variables que desarrollan las fincas, y que dependen del manejo desarrollado por los productores, cuya forma de manejo hace que varíe la producción y la rentabilidad independientemente del tamaño de las fincas; no obstante, las fincas están concentrando sus esfuerzos en generar mayores ingresos, pero sin analizar los impactos en emisiones. Aunque algunas fincas

presentan tendencias a aumentar sus ingresos con bajas emisiones de carbono por kilogramo de leche producido.

Es importante mencionar que existen experiencias como en Nueva Zelanda donde la ganadería de producción de leche a través de la combinación de diferentes alternativas de mitigación como buenas prácticas ganaderas (mejora en el desempeño productivo del hato, genética, nutrición, uso de fertilizantes) lograron un aumento del 15-20% en la producción de leche y una disminución del 15-20% en las emisiones de GEI (Beukes *et al.* 2011). Otros estudios demuestran que la aplicación de buenas prácticas ganaderas para reducir las emisiones ha contribuido al incremento de los ingresos en las fincas, por lo que este debe ser el enfoque para lograr cambios en los modelos de producción ganadera.



**Figura 23.** Relación entre la utilidad o margen neto por unidad de producto y la intensidad de emisiones por unidad de producto de sistemas ganaderos doble propósito de la cuenca del río Jesús María.

## CONCLUSIONES

La principal fuente de emisión en estos sistemas de manejo en doble propósito es el componente animal por medio de la fermentación entérica que representa entre el 75 y 85% de las emisiones totales de GEI generadas.

Las fincas grandes presentaron las mayores emisiones de GEI totales; sin embargo, por unidad de producto, fueron las que presentaron una menor intensidad de emisiones.

Las emisiones de GEI generadas por producto fueron más altas en la época seca que en época lluviosa, lo cual está relacionado con la baja calidad de la dieta de los animales.

En los sistemas de producción analizados, la variable que más incidió en las emisiones de GEI fue la carga animal, evidenciando que esta variable influye en el 74% de las emisiones totales de las fincas.

## RECOMENDACIONES

El manejo de la alimentación es el factor principal para mantener los niveles productivos y evitar el incremento de las emisiones de GEI, por lo que es necesario mejorar la suplementación principalmente en la época seca. La utilización de bancos forrajeros es la alternativa más viable como estrategia de mitigación, pero tomando en cuenta las condiciones de la región; también, se debe utilizar un sistema de conservación de forraje, ya que la mayor concentración de forraje se da en la época lluviosa.

El modelo de estimación de GEI en fincas a través de la carga animal puede ser empleado por técnicos o productores de la región, para realizar una estimación rápida de las emisiones generadas en fincas ganaderas en condiciones similares a las del presente estudio. Sin embargo, es necesario validar el modelo en condiciones distintas a las del presente trabajo.

Desarrollar un estudio de balance de carbono en las fincas del presente estudio para saber si existen excedentes de carbono, lo cual sería una herramienta para analizar posibilidades de mercado para el excedente de carbono o mejores condiciones de mercado para los productos que comercializa la finca.

Se debe de incluir el manejo integral del estiércol en el enfoque de sistemas sostenibles de producción ganadera; lo cual contribuye en la reducción de emisiones de GEI y una serie de beneficios económicos y ambientales tanto dentro como fuera de la finca.

Es importante para las estimaciones de GEI utilizar factores de emisión locales y si no existen, motivar a generarlos por medio de investigaciones; de manera que se logren factores más precisos, acordes a los sistemas de producción ganadera y condiciones locales de la región.

## BIBLIOGRAFÍA

- Betancourt, K. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de Matiguás, municipio de Matagalpa, Nicaragua. Tesis de Maestría. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica: 60.
- 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
- Buddle, B.M., Denis, M., Attwood, G.T., Altermann, E., Janssen, P.H., Ronimus, R.S., Pinares-Patiño, C.S., Muetzel, S. and Wedlock, D.N. 2011. Review: Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pastures. *The Vet J*, 188: 11-17.
- CADETI, C.A.s.D.d.T. 2004. Programa de Acción Nacional de lucha contra la degradación de tierras / CADETI - 2 ed. - San José, Costa Rica. . MINAE; CADETI: Pág. 111.
- 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 p.
- Cottle, D.; Nolan, J.; Wiedemann, S. 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review *Animal Production Science* 51(6): 491-514.
- DeRamus, H.A., Clement, T.C., Giampola, D.D. and Dickison, P.C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forage: Efficiency of grazing management system. *J Environ Qual*, 32: 269-277.
- Di Rienzo J. A.; Casanoves F.; Balzarini M. G.; Gonzalez L.; Tablada M., R.C.W. 2008. Infostat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 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. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería: una evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. Consultado 07 de enero 2016. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>

- Gerber, P.; Vellinga, T.; Opio, C.; Steinfeld, H. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139(1–2): 100-108. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141311000953>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012>
- 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.: 34-220 p.
- 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.
- Hammond, K.J., Hoskin, S.O., Burke, J.L., Waghorn, G.C., Koolgaard, J.P. and Muetzel, S. 2011. Effects of feeding fresh with clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Anim Feed Sci Tech*, 166-167: 398-404.
- Hassan, J.; Ibrahim, M.; Sepúlveda, C.; Guerra, L.; Villanueva, C.; Tobar, D. 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. Tesis Mag. Sc. Turrialaba, Costa Rica, CATIE: 144 p.
- Holmann, F. 2001. Análisis ex-ante de nuevas alternativas forrajeras en fincas con ganado en sistemas doble propósito en Perú, Costa Rica y Nicaragua. *Pasturas Tropicales*, Vol (2): 58 p. Disponible en [www.tropicalgrasslands.info/public/.../4/.../Vol21\\_rev2\\_99\\_art2.pdf](http://www.tropicalgrasslands.info/public/.../4/.../Vol21_rev2_99_art2.pdf)
- Hristov, A.N., OH, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B. and Tricarico, J.M. 2013a. Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*. 91(11):5045-5069.
- Hristov, A.N., Ott, T., Tricarico, J., Rrotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S.J., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P. and Firkins, J.L. 2013b. Special topics--Mitigation of methane and nitrous

- oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*. 91(11):5095-5113.
- Ibrahim, M.; Sepúlveda, C.; Tobar, D.; Ríos, N.; Guerra, L.; Casasola, F.; Vega, A. 2013. Balance de gases de efecto de invernadero en los sistemas ganaderos de doble propósito en la región Chorotega.
- IMN, I.M.N. 2005. Segunda Comunicación sobre Cambio Climático, Costa Rica.: 1 p.
- IMN, I.M.N. 2014. Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Cuarta Edición. San José, Costa Rica.: 10 p. Consultado 02/03/2015. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/factores-de-emision-gei-cuarta-edicion>
- IPCC, I.P.C.C. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Agriculture, Forestry, and Other Landuse. OECD Press, Paris (2006) (475): 505.
- IPCC, I.P.o.C.C. 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Consultado 04/12/2015. Disponible en [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/figure--spm--3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/figure--spm--3.html).
- Johnson, J.; Fransluebbers, A.J.; Weyers, S.L.R., D. C., 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental pollution*: 150: 107--124.
- Lemus de Jesús, G. 2008. Análisis de productividad de pasturas en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de doble propósito en Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Cost Rica, CATIE: 126.
- McCaughey, W.P., Wittenberg, K. and Corrigan, D. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can J Anim Sci*, 77: 519-524.
- Peters, M.; Franco, L.; Schmidt, A.; Hincapie, B. 2011. Especies Forrajeras Multipropósito Opciones para Productores del Trópico Americano. CIAT - Colombia.
- Pinares-Patiño, C.S., Waghorn, G.C., Machmüller, A., Vlaming, B., Molano, G., Cavanagh, A. and Clark, H. 2007a. Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Can J Anim Sci*, 86: 601- 613.
- Romero, J. 2009. Metodología para estimar la remoción y la reducción de gases efecto invernadero por prácticas de manejo mejoradas en pastizales bajo el Estándar de Carbono Voluntario. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 2008. Serie Técnica, Manual Técnico N° 83. Turrialba, C. R.: 171 p.
- Sánchez, J. 2008. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. En XI Seminario Manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal. Memorias del Seminario.

- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; C., H. 2006. La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. FAO; LEAD: Pág. 493.
- Sun, X.Z., Hoskin, S.O., Zhang, G.G., Molano, G., Muetzel, S., Pinares-Patiño, C.S., Clark, H. and Pacheco, D. 2011a. Sheep fed forage chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) have similar methane emissions. *Anim Feed Sci Technol*, 172: 217- 225.
- Szott, L.; Ibrahim, M.; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba CATIE. Serie técnica, Informe técnico N° 313: Pág. 71.
- Torres, M.; Villanueva, C.; Sepúlveda, C. 2014. Planificación de fincas basada en sistemas silvopastoriles en la cuenca media del río Jesús María, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialaba, Costa Rica, CATIE.: 73.
- 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. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas. Consultado 05/08/2014.
- Waghorn, G.C. 2011. Can livestock production be increased without increasing greenhouse gas emissions? *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 71: 156- 162.
- Wims, C.M., Deighton, M.H., Lewis, E., O'Loughlin, B., Delaby, L., Boland, T.M. and O'Donovan, M. 2010. Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake and milk production of grazing dairy cows during the mid-lactation period. A climate for change, opportunities for carbon-efficient farming. Association of Applied Biologists. Dublin, Ireland.

## ANEXOS

**ANEXO 1.** Herramienta empleada para la recolección de datos en las fincas del proyecto FONTAGRO en la cuenca del río Jesús María.

### **FORMATO DE MONITOREO MENSUAL EN FINCAS - PROYECTO SILVOPASOTIRL FONTAGRO**

Productor: \_\_\_\_\_

Ubicación coordenadas X,Y \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Técnico: \_\_\_\_\_

#### **1. Usos de la tierra de la finca en el pasado y el actual (inicio y final de año).**

<b>Uso de la tierra</b>	<b>Área (ha) en el pasado*</b>	<b>Área (ha) – actual</b>	<b>Observaciones**</b>
Pasturas degradadas			
Pasturas naturales			
Pasturas mejoradas			
Bancos forrajeros de gramíneas			
Bancos forrajeros de leñosas			
Cultivos anuales			
Cultivos permanentes			
Plantaciones forestales			
Tacotales o charrales			
Bosques ribereños			
Bosques secundarios			
Otros			

Total (Has)			
-------------	--	--	--

\* Hace más de 10 años. \*\* Anotar información complementaria, por ejemplo, especies de pastos predominantes.

## 2. Sistema de pastoreo en la finca.

Sistema de pastoreo	Época seca *		Época seca*	
	P. O.	P. D.	P. O.	P. D.
Rotacional ***				
Alternativo***				
Continuo**				

\*Indicar cuáles meses aplican para cada época. \*\*Aplica cuando se manejan todos los potreros abiertos, como sucede en la época seca para acceso al agua u otro motivo. \*\*\* Lo que son período de ocupación y período de descanso aplican para sistema rotacional y alternativo.



#### 4. Inventario de ganado en finca.

<b>Categoría de ganado</b>	<b>Cantidad</b>
Vacas en producción	
Vacas paridas (pero no en producción de leche)	
Vacas secas	
Novillas > 2 años	
Novillas 1-2 años	
Ternereras	
Toros	
Machos > 2 años	
Machos 1-2 años	
Terberos	
Caballos	
<i>Otras especies</i>	
Total	

**5. Registro de nacimientos y muertes.**

Fecha	Nacimientos			Muertes (especificar categoría)	Causa de la muerte
	Sexo	Peso vivo (kg)	ID vaca		

**6. Registro de compra de ganado.**

Categoría	Precio (Colones CR)	Peso vivo (kg)	Procedencia









**11. Insumos para salud del hato.**

**11.a Tratamiento de animales enfermos**

<b>Nombre del producto</b>	<b>Identificación del animal</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad utilizada</b>	<b>Costo (Colones CR)</b>	<b>Fecha de aplicación</b>



**12. Control de otros gastos en insumos en la finca.**

<b>Nombre del producto o servicio</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (Colones CR)</b>	<b>Actividad</b>

Nota: en este formato se considera el gasto de combustible, mantenimiento de maquinaria, equipo e infraestructura, energía eléctrica y otros.

**13. Mano de obra de la finca.**

<b>Tipo de mano de obra</b>	<b>Número de jornales/mes</b>	<b>Horas/Jornal/día</b>	<b>Costo/jornal /día</b>	<b>Costo Total /mes</b>	<b>Observaciones (tareas)</b>
Familiar					
Permanente					
Temporal					

Anotar el número de horas que equivale un jornal-día: \_\_\_\_\_



**15. Registro de otras actividades productivas generadoras de ingresos (ganado menor, cultivos agrícolas, forestería, renta de tierra, renta de maquinaria, etc.).**

Actividad productiva	Costo total de producción	Ingreso bruto	Ingreso neto
<p>El monitoreo central es la actividad ganadera; sin embargo, se recolectará información de otras que pueda ofrecer el productor cada mes que se le visita. Se menciona ingreso neto porque a veces ese es el único dato que manejan (por ejemplo, la renta de una parte de la finca).</p>			



**ANEXO 2.** Listado de fincas seleccionadas para el estudio con sistemas doble propósito en la Cuenca del río Jesús María.

---

<b>Código del productor</b>	<b>Nombre del productor</b>
<b>F1</b>	Alexis Conejo
<b>F2</b>	Armando Arias
<b>F3</b>	Clarencio Amaya
<b>F4</b>	Félix Quiroz Pineda
<b>F5</b>	Francisco Arguedas
<b>F6</b>	Francisco Brenes Amaya
<b>F7</b>	Gabriel Montero
<b>F8</b>	Gabriel Villalobos
<b>F9</b>	Jorge Luis Hidalgo
<b>F10</b>	Jose Bernal Hidalgo
<b>F11</b>	Juan Luis Esquivel
<b>F12</b>	Kerlin Rojas Mora
<b>F13</b>	Luis Carlos Cambronero
<b>F14</b>	Luis Emilio Mora
<b>F15</b>	Reyes Campos Miranda
<b>F16</b>	Rogelio Salas
<b>F17</b>	Wilber Esquivel

---

**ANEXO 3.** Estado financiero de las fincas según base de datos del proyecto FONTAGRO 2012-2013.

<b>Productor</b>	<b>Ingreso Neto en dólares por año</b>	<b>Ingreso Neto en dólares por ha/año</b>	<b>Dólares/kg de leche</b>	<b>Dólares/kg de carne</b>
<b>Alexis Conejo</b>	-2111,298	-67,778	-0,065	-0,117
<b>Armando Arias</b>	9266,387	1323,770	0,224	1,339
<b>Clarencio Amaya</b>	- 10126,537	-547,380	-0,432	-0,774
<b>Félix Quiroz</b>	4640,976	93,192	0,288	0,210
<b>Francisco Arguedas</b>	10696,002	1465,206	0,696	2,073
<b>Francisco Brenes Amaya</b>	6300,450	663,205	0,564	0,927
<b>Gabriel Montero</b>	33796,465	633,664	0,505	0,779
<b>Gabriel Villabos</b>	4644,532	580,566	0,416	0,554
<b>Jorge Luis Hidalgo</b>	3298,892	80,461	0,118	0,257
<b>Jose Bernal Hidalgo</b>	5038,689	592,787	0,314	0,686
<b>Juan Luis Esquivel</b>	-757,081	-12,555	-0,022	-0,024
<b>Kerlin Rojas Mora</b>	6548,613	297,935	0,118	0,300
<b>Luis Carlos Cambronero</b>	6140,838	409,389	0,330	0,641
<b>Luis Emilio Mora</b>	26984,968	513,999	0,334	0,775
<b>Reyes Campos Miranda</b>	7700,148	185,546	0,221	0,332
<b>Rogelio Salas</b>	-6886,119	-318,802	-0,065	-0,272
<b>Wilber Esquivel</b>	8053,040	273,913	0,757	0,885