

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Estrategias de alimentación, emisiones de gases efecto invernadero y
relación ingresos-costos de alimentación asociados a la producción
de leche en fincas productoras de leche de la Cooperativa Dos Pinos,
en 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 Tropical**

Juan Pablo Iñamagua Uyaguari

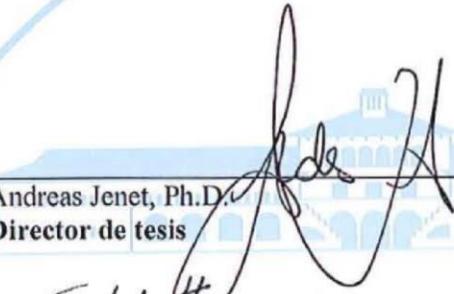
TURRIALBA, COSTA RICA

2014

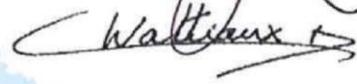
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

FIRMANTES:



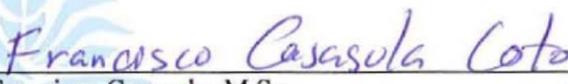
Andreas Jenet, Ph.D.
Director de tesis



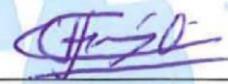
Michel Wattiaux, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Leónardo Guerra, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Francisco Casasola, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano Programa de Posgrado



Juan Pablo Ñamagua Uyaguari
Candidato

DEDICATORIA

Este trabajo, esta experiencia, estos dos últimos años están dedicados a mi familia, a mi papá, mamá y hermanas. Para ustedes va este pequeño logro, por su perseverancia, por su incondicionalidad, por su corazón pegado a la tierra, a ustedes, por todo su amor. Este camino va también para Alicia, por llevarme a tierras rebeldes, por atreverse a caminar conmigo, así haya sido solo un minuto, por enseñarme a escuchar las estrellas (yo antes solo las contaba).

"Seamos hermanos porque estamos perdidos, perdidos sobre un pequeño planeta de los alrededores de un sol suburbano de una galaxia periférica de un mundo privado de centro. Estamos allí, pero tenemos las plantas, las aves, las flores, tenemos la diversidad de la vida, tenemos las posibilidades del espíritu humano..."

Edgar Morin. *Amour, poésie, sagesse*,

Editions du Seuil. Junio 1997. París

AGRADECIMIENTOS

A la vida, a esa energía que nos hermana a todos los seres vivientes y que nos recuerda que estamos conectados, que no estamos solos, que a pesar de ser diferentes, somos miembros de un todo.

A mi papá Ángel Serafín y a mi mamá Luz Irene, por sus sacrificios, por sus luchas imparables, por su congruencia, por su bondad, por acompañarme siempre, por ser ejemplo y también camino.

A mis hermanas Jimena Rocío y Ana María, por estar siempre, por acompañarme desde la distancia, y por hacerme sentir como si siempre estuviera en casa.

Agradezco al Gobierno ecuatoriano, y a la Secretaría Nacional de Ciencia Y Tecnología SENESCYT, por su apuesta por la educación de calidad, por confiar en los jóvenes profesionales, sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible.

A Andreas Jenet, asesor de tesis, por su apoyo en todo este trabajo, por sus consejos y por su amistad.

A Michel Wattiaux, miembro del comité asesor, por todo el tiempo invertido en este trabajo, por su amistad, por sus consejos, por haberme transmitido sus conocimientos, pero también el entusiasmo a investigar, enseñar, pero sobre todo a aprender.

A Leonardo Guerra y Francisco Casasola, miembros del comité consejero, por todo el apoyo brindado en este trabajo, por su amistad y por permitirme aprender de ustedes.

Agradezco al personal de GAMMA, especialmente a Adriana Chacón, Johana Gamboa y Karla Posada, por su amistad, por sus palabras de aliento y por su apoyo constante.

A Margarita, Marcela, Kaue, Eduardo, Maureen, Tereré, por los momentos "vividos que nos tocó vivir", por su amistad, por las palabras de aliento, por los gestos de amistad, por estar, por ser como son.

Al equipo choque (Margarita, Julia, Maureen), a los juepuurras (Jimmy, Kaue, Oriana, Marcela, Sebastián), a la familia (Khats, Mónica, Kaue, Suelen, Eduardo, Maureen, Margarita), al glorioso equipo DioDiay, a todos . A las doñas Jose Manuel, Adolfo, Eduardo, A Jimmy y su familia, porque con su ejemplo y hospitalidad, me volvía los pies a tierra y me recordaba siempre, que la familia es lo más importante.

A mis compañeros y compañeras de maestría Pedro, Pablo, Oriana, Jimmy, Marcela y Kaue, porque hemos crecido juntos en estos dos años. A los compañeros de las promociones 2012-2013 y 2014-2015, por su amistad, por los momentos compartidos. A Andrea y Leah por su amistad, por sus enseñanzas, por su interés en aprender de Latinoamérica, por las letras y por la música, por las caminatas y la escalada.

A Amilkar Moncada, Leonardo Alfaro, Olivier, a Altitude, por la amistad, por las rutas que se lograron y por las que siguen pendientes, por mostrarme el maravilloso mundo de la escalada, por la alegría compartida al finalizar una ruta, por ser válvula de escape en tiempos de tesis.

CONTENIDO

Contenido

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO.....	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS	1
Justificación e importancia.....	1
Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Preguntas de Investigación	3
Marco referencial.....	3
El cambio climático a nivel mundial /Marco político para la mitigación de GEI	3
La ganadería lechera en Costa Rica	4
Ganadería y emisiones de GEI	4
Emisiones de metano	5
Emisiones de óxido nitroso	6
La huella de carbono	6
Prácticas de alimentación en ganadería	7
Ingresos sobre costos de alimentación (IOFC)	7
Estrategias de mitigación de GEI en ganadería	8
Impacto de los hábitos de consumo en emisiones de GEI en ganadería	8
Principales resultados	9
Resultados del primer artículo:	9
Resultados del segundo artículo:	9
Principales conclusiones	10
Bibliografía	10
CAPÍTULO II	15

Impactos económicos y ambientales de las estrategias de alimentación en fincas lecheras de Costa Rica	15
Resumen	15
Abstract	15
Introducción	16
Materiales y métodos.....	17
Población de estudio	17
Recolección de datos y descripción de las variables	18
Estrategia de Alimentación.....	18
Consumo de MS, PC, FND, y EE por vaca por día	19
Emisiones de metano	20
Emisiones de óxido nitroso.....	20
Emisiones en CO ₂ eq por kilogramo de leche estandarizada a contenido de proteína y grasa	21
Gastos directos de alimentación	22
Análisis Estadístico.....	22
Resultados	23
Descripción de conglomerados	24
Descripción de las estrategias de alimentación	25
Emisiones de CH ₄ y N ₂ O.....	28
Discusión.....	30
Conclusiones.....	34
Bibliografía.....	35
CAPÍTULO III.....	39
Emisiones parciales de gases efecto invernadero en hatos lecheros de Costa Rica, identificación de variables explicativas de emisiones.....	39
Resumen	39
Abstract	39
Introducción	40
Materiales y métodos.....	41
Población de estudio	41
Recolección de datos y descripción de las variables	41
Características de la alimentación de vacas en producción	42
Emisiones de metano	45
Emisiones de óxido nitroso.....	45

Emisión Parcial de CO ₂ eq por kilo de leche	46
Análisis Estadístico	46
Identificación de fincas por categoría de emisiones.....	46
Identificación y determinación de variables explicativas (ambientales y de manejo) asociadas a la emisiones parciales de GEI.....	47
Resultado y Discusión	47
Clasificación de fincas por sus emisiones parciales de GEI	48
Descripción de los conglomerados	48
Características generales de los conglomerados	48
Emisiones parciales de GEI.....	49
Identificación y de variables relacionadas con la emisiones parciales de GEI.....	51
Relación entre variables de interés y emisiones.....	54
Limitaciones del estudio	56
Conclusiones	56
Bibliografía	57
ANEXOS	65
Anexo 1. Encuesta para estimar emisiones de GEI en fincas productoras de leche de la cooperativa Dos Pinos.....	65
Anexo 2. Especies de pastos registradas en las encuestas	74
Anexo 3. Distribución altitudinal de pastos en fincas encuestadas.....	75
Anexo 4. Características de los géneros de pastos de piso utilizados en alimentación de vacas lactantes en fincas de asociados a Dos Pinos	76
Anexo 5. Características de los subproductos utilizados en alimentación en fincas de asociados a Dos Pinos.....	77
Anexo 6. Características de los concentrados utilizados en alimentación en fincas de asociados a Dos Pinos.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dendrograma análisis de conglomerados	40
CAPÍTULO III	
Figura 1. Selección de variables de interés mediante un análisis de conglomerados	66
Figura 2. Grupos de fincas por emisiones parciales de GEI y su relación con las variables de interés	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Nitrógeno aprovechado por distintos usos en ganadería en pastoreo	24
CAPÍTULO II	
Cuadro 1. Características generales de los conglomerados	41
Cuadro 2. Características de alimentación de vacas en lactancia entre los conglomerados	42
Cuadro 3. Características de las estrategias de alimentación	44
Cuadro 4. Impacto de las estrategias de alimentación en las emisiones	45
Cuadro 5. Gastos en alimentación e Ingresos Sobre Costos de Alimentación (IOFC)	46
CAPÍTULO III	
Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas en cálculos de requerimientos de energía	57
Cuadro 2. Emisiones de metano, óxido nitroso y emisión parciales	62
Cuadro 3. Características generales de los conglomerados	63
Cuadro 4. Emisiones de GEI al nivel de la finca, de las vacas y de los pastos	65
Cuadro 5. Coeficientes de regresión para predecir emisiones parciales (CO ₂ eq/kg LCPG) en las fincas lecheras de Dos Pinos.	68
Cuadro 6. Variables asociadas a emisiones parciales de GEI	69

LISTA DE ACRÓNIMOS

CFCs	Clorofluorocarbonados
CH4	Metano
CO2	Dióxido de Carbono, Dióxido de Carbono
CO2eq	Dióxido de Carbono Equivalente
DIVMS	Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca
EE	Extracto Etéreo
ENCC	Estrategia Nacional ante el Cambio Climático
FND	Fibra Neutro Detergente
FPCM	“Fat and Protein Corrected Milk” (Leche corregida a Grasa y proteína)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gr	Gramos
Ha	Hectárea
IDF	International Dairy Federation (Federación Internacional Lechera)
IMN	Instituto Meteorológico Nacional-Costa Rica
IOFC	Income Over Feed Cost (Ingresos Sobre Costos de Alimentación)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos ante el Cambio Climático)
Kg	Kilogramo
LCPG	Leche Corregida a Grasa y Proteína
LED	Low Emission Development (Desarrollo Bajo en Emisiones)
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería-Costa Rica
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MINAET	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
MRV	Measuring, Reporting and Verification (Monitoreo, Medición, Revisión y Verificación)
MS	Materia Seca
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno

N ₂ O	Óxido Nitroso
NAMAs	Nationally Appropriate Mitigation Actions (Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas)
NRC	National Research Council
PC	Proteína Cruda
REDD	Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques)

RESUMEN

La ganadería a nivel mundial es uno de los sectores de mayor importancia en las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), los cuales contribuyen al fenómeno del calentamiento global. En Costa Rica, la ganadería ocupa el 33% de la superficie nacional y es responsable del 39% de las emisiones totales de GEI para el año 2009. El compromiso de ser país Carbono Neutral para el año 2021 ha impulsado al país a desarrollar un marco político que considera como prioritarias las acciones de mitigación al cambio climático, especialmente en el sector ganadero. Este trabajo de investigación se ha enfocado en caracterizar las prácticas de alimentación en fincas lecheras de la cooperativa Dos Pinos y estudiar las emisiones de GEI directamente asociadas a la producción de leche. El estudio se realizó con 104 productores, a los cuales a través de encuestas se les consultó sobre características de alimentación, manejo y producción. Se utilizó la metodología propuesta por IPCC para estimar las emisiones de GEI, pero ajustando esta metodología a las condiciones de manejo de los participantes en el estudio. Mediante un análisis de conglomerados se identificaron cuatro estrategias de alimentación, las mismas que presentan influencias en las emisiones de GEI y en los costos directos de alimentación. Se encontró que las fincas que presentan un mayor uso de concentrados en la dieta presentan mayores costos de alimentación, pero también se traduce en un mejor valor en la relación ingreso/costos de alimentación (IOFC); ocurriendo lo opuesto a la estrategia que presenta un menor consumo de concentrados y centra su alimentación en las pasturas. Las estrategias de alimentación y fertilización de los pastos influyen en las emisiones de GEI, se encontró que las estrategias que tienen mayor dependencia de pasturas presentan una menor producción y a su vez presentan mayores emisiones, expresadas como CO₂eq/LCGP (dióxido carbono equivalente por kilo de leche corregido por grasa y proteína). Cuando se clasificó las fincas por su nivel de emisiones de GEI, el análisis de conglomerados identificó 3 tipologías de fincas, se tienen así fincas de bajas, medias y altas emisiones de GEI, expresadas en CO₂eq/LCGP. Las fincas de emisiones tipo altas presentan emisiones superiores en un 85% a las fincas de bajas emisiones. Al igual que en el análisis anterior, se identificó que el nivel de productividad tiene una gran influencia en las emisiones totales, pues las emisiones se diluyen en esta. Se identificaron 11 variables que permiten comprender y a la vez explicar de mejor manera las diferencias en los niveles de emisiones de las tres tipologías de fincas. El conocimiento de las estrategias de alimentación, su influencia en las emisiones, y el conocimiento de los diferentes niveles de emisión en fincas lecheras, y cuál es la relación entre niveles de emisión y variables explicativas, brindan un mejor entendimiento de las dinámicas asociadas a las emisiones de GEI y cuáles serían las estrategias de mitigación adecuadas para las realidades identificadas.

Palabras claves: Estrategias de alimentación, ganadería de leche en trópicos, ingresos, gastos de alimentación, emisiones GEI, emisiones, metano, óxido nitroso, vacas lactantes

ABSTRACT

Livestock activities in the world are one of the most important sectors in the emissions of greenhouse gases (GHGs), which contribute to the phenomenon of global warming. In Costa Rica, livestock production occupies 33% of the national area and accounts for 39% of national GHG by 2009. The country's commitment to be carbon neutral by 2021 has prompted to develop a policy framework that considers as priority actions to mitigate climate change, especially in the livestock sector. This research has focused on characterizing feeding practices in Dos Pinos dairy farms and study GHG emissions directly associated with the production of milk. The study was conducted with 104 milk producers associated to Dos Pinos cooperative, to which, through surveys, were consulted about feed, management, and production characteristics. IPCC's proposed methodology for estimating GHG emissions was used, but setting this methodology to the driving conditions of the study participants. Using a cluster analysis, four feeding strategies which have the same influence on GHG emissions and direct feed costs were identified. It was found that farms that have an increased use of concentrates in the diet have higher feed costs, but also results in a better value in the income / feed cost (IOFC) relationship, having the opposite effect in the strategy that presents lower consumption of concentrates and focuses their feeding on pasture. Feeding strategies affect GHG emissions, finding that the strategies that have greater reliance on pasture have lower production and in turn have higher emissions expressed as CO₂eq/ LCGP. When the farms were classified by their level of GHG emissions, cluster analysis identified 3 types of farms and estates taking low, medium and high GHG emissions, expressed in CO₂eq/LCGP. Farms with high emission rate emissions are almost 85% higher than farms with low emissions. As in the previous analysis, it was identified that the level of productivity has a major influence on the total emissions because these emissions are diluted in the level of productivity. Eleven variables that enable us to understand and also better explain the differences in the emission levels of the three types of farms were identified. Knowledge of feeding strategies, their influence on emissions, and the knowledge of different levels of emissions in dairy farms, and what is the relationship between emission levels and explanatory variables, provide a better understanding of the dynamics associated with GHG emissions and what mitigation strategies appropriate to the realities would be identified.

Key words: Feeding strategies, lactating cows, dairy farms, livestock, tropics, income over feed cost, emissions, methane, nitrous oxide.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

Justificación e importancia

El calentamiento global es un fenómeno de preocupación internacional, según el Grupo Intergubernamental de Expertos ante el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Este trae consigo cambios en el clima del planeta, como aumento de la temperatura promedio de la atmósfera y océanos (IPCC 2013). En los últimos 80-100 años, la temperatura del planeta se ha incrementado en de 0,3 a 0,6 según Wigley y Barnett (1990), por lo que es muy probable que las actividades antropogénicas sean las responsables de este incremento en la temperatura (IPCC 2013).

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera, según Watson et al. (1990), son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), clorofluorocarbonados (CFCs), óxido nitroso (N₂O) y ozono troposférico (O₃). De estos gases, el CO₂, CH₄, N₂O son aquellos que están relacionados a actividades ganaderas (Watson et al. 1990). El CH₄ y N₂O contribuyen con el 17% y 6% del forzamiento radiativo ocasionado por los GEI. Se considera que para el CH₄, aproximadamente el 60% de las emisiones están relacionadas con actividades antropogénicas, mientras que en el caso del N₂O, las actividades antropogénicas son responsables del 40% de estas emisiones (BOLETIN OMN). A nivel global, el sector ganadero contribuye con el 57% del total de emisiones relacionadas al sector agrícola, y son el CH₄ y N₂O los principales GEI emitidos, con 72 y 28% respectivamente (Caro *et al.* 2014). Según Gerber *et al.* (2010), el sector lechero contribuye con el 4% del total de emisiones antropogénicas de GEI.

Frente a este fenómeno, se han desarrollado iniciativas a nivel global con el fin de analizar los impactos futuros del cambio climático y las formas de mitigación del calentamiento global a través de la reducción de emisiones de GEI. Iniciativas como el Protocolo de Kyoto crearon un marco en el cual los estados firmantes se comprometen a reducir y limitar sus emisiones de GEI (De La Convención 1998). A nivel Latinoamericano, Costa Rica ha asumido el liderazgo en el tema del cambio climático, el cual se oficializó en su "Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010", con la iniciativa presidencial "Paz con la Naturaleza". En esta se contempla el cambio climático como un tema de acción prioritario y se asume el compromiso de que Costa Rica sea un país carbono neutral para el 2021 (MINAET 2009).

En su Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC), Costa Rica plantea dos ejes de mitigación, el primer eje se centra en la reducción de emisiones de GEI por fuente y el segundo eje en la captura y almacenamiento de carbono (MINAET 2009). Las acciones de mitigación de emisiones de GEI provenientes del sector ganadero se centran en la reducción de emisiones de CH₄ por fermentación entérica al mejorar la calidad de la alimentación animal y a través de un mejor manejo de las excretas de los animales. Al reducir la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados en pasturas se pretende reducir las emisiones de N₂O (MINAET 2009).

El inventario de emisiones de GEI de Costa Rica determinó un total de 12,2 millones de toneladas de CO₂eq, donde el sector agropecuario contribuye con el 38% de las emisiones totales (Chacón *et al.* 2009). El CH₄ por fermentación entérica y el N₂O proveniente de la fertilización de pastos son los gases de mayor importancia en este sector (Chacón *et al.* 2009).

Uno de los instrumentos para lograr la carbono neutralidad, es el desarrollo de las Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés). En el caso de la ganadería, el desarrollo de las NAMA pretende alcanzar un potencial de mitigación de 12,93 millones de toneladas de CO₂eq en los próximos 15 años, a través del 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).

Aunque en Costa Rica se ha desarrollado estudios sobre emisiones de GEI en sistemas ganaderos, aún se carece de información sobre las dinámicas que influyen en las emisiones de CH₄ y N₂O, especialmente en ganaderías de leche. En este sentido, el presente trabajo se enfoca en su primera parte en analizar las estrategias de alimentación de los productores de leche asociados a la cooperativa Dos Pinos, y cómo estas estrategias de alimentación tienen influencias económicas y ambientales. En su segunda parte, este trabajo se enfoca en analizar la huella parcial de carbono de las 104 fincas asociadas a Dos Pinos, a la vez que identifica cuáles son las variables de mayor importancia en la huella parcial de carbono de ganaderías de leche.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la relación existente entre estrategias de alimentación, ingresos económicos y la huella parcial de carbono en sistemas ganaderos de producción de leche de la cooperativa Dos Pinos en Costa Rica.

Objetivos específicos

- Identificar las estrategias de alimentación en fincas lecheras asociadas a la cooperativa Dos Pinos.
- Identificar los impactos económicos y ambientales de las estrategias de alimentación en fincas lecheras.
- Estimar las emisiones parciales de GEI en fincas lecheras asociadas a la cooperativa Dos Pinos.
- Identificar las variables que determinan el nivel de emisiones parciales de GEI en fincas lecheras asociadas a la cooperativa Dos Pinos.

Preguntas de Investigación

- ¿Existen diferencias en las estrategias de alimentación en fincas lecheras de Dos Pinos?
- ¿Cuáles son las características de las estrategias de alimentación de vacas en producción en fincas lecheras de Dos Pinos?
- ¿Cuáles son las consecuencias económicas de las estrategias de alimentación en fincas lecheras?
- ¿Cuáles son las consecuencias en las emisiones de GEI de las estrategias de alimentación en fincas lecheras de Dos Pinos?
- ¿Cuál es el nivel de emisiones de GEI en fincas lecheras de Dos Pinos?
- ¿Es posible diferenciar a las fincas lecheras de Dos Pinos por su nivel de emisiones de GEI?
- ¿Cuáles son las características que diferencian a las fincas por su nivel de emisiones de GEI?
- ¿Qué variables tienen mayor influencia en las emisiones de GEI en fincas lecheras de Dos Pinos?

Marco referencial

El cambio climático a nivel mundial /Marco político para la mitigación de GEI

A nivel internacional, se han establecido acuerdos con el fin de mitigar las emisiones de GEI por fuentes antropogénicas. La primera acción contra el cambio climático a nivel internacional se acordó en el Protocolo de Kyoto, en el cual los estados pertenecientes al Anexo 1¹ se comprometieron a reducir sus emisiones en un 5% en relación con las emisiones del año 1990, en el período comprendido entre el año 2008 y 2012 (De La Convención 1998).

Como una estrategia para incluir a los estados fuera del Anexo 1, en el Protocolo de Kyoto se definió el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual es un instrumento que ayuda a los países no Anexo 1 a lograr un desarrollo sostenible y ayudar a las partes incluidas en el Anexo 1 a cumplir sus compromisos de reducción y limitación de emisiones (De La Convención 1998).

El MDL permite a los países no Anexo 1 beneficiarse de proyectos enfocados en reducir emisiones, mientras que las partes pertenecientes a este anexo podrán utilizar estas reducciones como parte del cumplimiento de su compromiso de reducción y limitación de emisiones (De La Convención 1998).

¹ Países que están en proceso de transición a una economía de mercado. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992.

El Plan de acción de Bali², suscrito por la conferencia de las partes en 2007, ratificó el compromiso de los países desarrollados en medidas de mitigación que sean adaptadas a cada país y sean medibles, notificables y verificables, a la vez que se incluyó a los países en desarrollo. Este es el surgimiento de las Acciones Nacionales de Mitigación (NAMA, por sus siglas en inglés).

Otra de las iniciativas a nivel mundial para la reducción de emisiones son las Estrategias de Desarrollo Bajo en Emisiones (LED, por sus siglas en inglés). Estas hacen referencia a estrategias nacionales de desarrollo económico a futuro, que consideran bajas emisiones de GEI y un crecimiento económico climáticamente resiliente (Clapp *et al.* 2010). Tanto el desarrollo de NAMAs como de LEDs pueden darse paralelamente, e incluso, se pueden presentar sinergias, ya que el desarrollo de LEDs permitirá priorizar el desarrollo de NAMAs (Clapp *et al.* 2010).

La ganadería lechera en Costa Rica

El sector ganadero desempeña un papel importante en la economía costarricense, ya que la producción de leche es el tercer rubro de mayor importancia en el sector agropecuario (SEPSA 2014), a la vez que de forma directa e indirecta emplea cerca del 14% de la mano de obra costarricense (MAG 2013). Según la última encuesta ganadera realizada en el 2012, la superficie destinada a actividades ganaderas es de aproximadamente 1 863 657ha, lo que representa cerca del 33% de la superficie nacional, con una población de 1 575 779 animales, distribuidos en 45 780 fincas (CORFOGA 2013). El 38% de las fincas ganaderas son de doble propósito, 34,1% dedicadas a la producción de carne, 20,9% producción de leche y 7,1% de las fincas destinadas a la selección de animales y pie de cría (CORFOGA 2013).

Con 9558 fincas, la ganadería de leche es una de las actividades de gran importancia y en constante crecimiento en Costa Rica, así en el período 1990-1999 la producción de este sector aumentó en un 56,41% (SEPSA 2000) y en un 5,99% en el período 2012-2013, y aportó en el año 2013 el 9,6% del valor bruto de la producción agropecuaria (SEPSA 2014). Uno de los principales actores del sector lechero costarricense es la cooperativa Dos Pinos, la misma que cuenta con 63 años en este sector, cuenta con 1420 socios y procesa aproximadamente el 85% de la leche industrializada de Costa Rica (Dos Pinos 2014).

Ganadería y emisiones de GEI

Al nivel mundial, el sector ganadero es el mayor contribuyente de emisiones de GEI (expresadas en CO₂eq) provenientes de actividades antropogénicas, con 18%, incluso superior al sector transporte (Steinfeld *et al.* 2006). Los GEI de mayor importancia en sistemas ganaderos son aquellos que están relacionados con los procesos de fermentación entérica de bovinos (CH₄), manejo de estiércol (CH₄, NO₂), fertilización de pasturas (NO₂) y consumo de combustibles fósiles (CO₂) (Watson *et al.* 1990).

² Plan de Acción de Bali. Decisión 1/CP.13. Convención Marco sobre el Cambio Climático. 2007.

El IPCC es el organismo que ha propuesto las directrices metodológicas para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de GEI. Ha propuesto tres métodos de cálculo, los cuales se diferencian en la complejidad y exactitud de cada método. De esta manera, las estimaciones de emisiones de GEI a un nivel básico pueden realizarse con el Nivel 1, mientras que los niveles 2 y 3 precisan más información y son más complejos de aplicar, pero a la vez son considerados más exactos (IPCC 2006).

Emisiones de metano

El CH₄ es uno de los GEI de mayor importancia a nivel global, por su potencial de calentamiento global que es 21 veces superior al del CO₂ (Houghton 1996) y por la cantidad que se emite anualmente, la cual varía significativamente de acuerdo con las características del país. Por ejemplo que en Nueva Zelanda, el CH₄ representa el 64% de las emisiones agropecuarias y 31% de las emisiones totales (Cottle *et al.* 2011), mientras que en Brasil representan el 68% del total de emisiones (Berchielli *et al.* 2012).

Las emisiones de metano entérico son una pérdida de energía, la misma que puede representar del 2 al 12% de la energía bruta ingerida Johnson y Johnson (1995). Esta pérdida de energía resulta como una parte del proceso de digestión de los rumiantes, el mismo que se da en el rumen y depende de varios factores, entre los que se destaca el tipo de animal, consumo de alimento, grado de digestibilidad de la ración ingerida, cantidad de materia seca ingerida, nivel de productividad y peso del animal (Yan *et al.* 2006; Hook *et al.* 2010). Según Berchielli *et al.* (2012), la producción de CH₄ por fermentación entérica en bovinos criados en zonas tropicales se ve afectada por la composición química de las plantas forrajeras.

Varias metodologías se han propuesto para estimar emisiones de CH₄ por fermentación entérica, las diferencias entre las metodologías se centran en las variables utilizadas, en la complejidad de la metodología y en la precisión de su predicción. El IPCC para inventarios de emisiones a Nivel 1 ha propuesto un factor de emisión de 63kg CH₄/animal/año para ganado lechero con características de manejo de América Latina, con alta dependencia de pastoreo y una pequeña parte de la alimentación con granos (IPCC 2006). Por su parte, el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica ha establecido como factor de emisión de CH₄ por fermentación entérica, el valor de 85kg/año para hembras adultas lecheras (IMN 2014).

Ecuaciones que presentan una mayor exactitud que el Nivel 1 propuesto por IPCC han sido desarrolladas; Ramin y Huhtanen (2013) desarrollaron una ecuación para predicción de emisiones de CH₄ utilizando únicamente la cantidad de materia seca ingerida diariamente. Por su parte, Moraes *et al.* (2014) desarrollaron una ecuación que presenta mayor complejidad, ya que incluye características de la dieta (Fibra neutro detergente, Extracto Etéreo), características del animal (Peso Vivo) y de la producción (% grasa en la leche), pero puede presentar mayor exactitud en la predicción de emisiones.

La metodología para estimar emisiones de CH₄ propuesta por IPCC para el Nivel 2, presenta mayor complejidad, pues considera las características de las categorías de animales y los requerimientos diarios de energía, considerando que el CH₄ es una pérdida de la energía ingerida.

Emisiones de óxido nitroso

Las emisiones de N₂O de sistemas ganaderos pueden provenir de la aplicación de fertilizantes sintéticos en pasturas y del manejo y aplicación de excretas de animales (Watson *et al.* 1990; Gerber *et al.* 2010). A nivel general, las emisiones de compuestos nitrogenados en ganadería, se ven influenciadas por el nivel de aprovechamiento que tienen los recursos que aportan nitrógeno al sistema. Garzón y Cárdenas (2013) realizaron una revisión bibliográfica para estimar los niveles de aprovechamiento de nitrógeno en ganaderías bajo pastoreo, los cuales se presentan a continuación en el *Cuadro 1*.

Cuadro 1. Nitrógeno aprovechado por distintos usos en ganadería en pastoreo

Usos	Aprovechamiento (%)	Causas de pérdida	Autores
Fertilización pastizales	30	Volatilización, denitrificación o lixiviación	Bowen y Baethgen 1998; Cárdenas y Panizo 2005; Deenen y Middlekoop 1992
Pastura disponible	30	Depende de la pastura	Mila 2005
Bovinos carne	5-10	Eliminación a través de excretas	Whitehead 1995
Bovinos leche	20-25	Eliminación a través de excretas	Whitehead 1995

Fuente. Garzón y Cárdenas (2013) **Elaboración propia.**

Las emisiones directas de N₂O en sistemas ganaderos están relacionadas directamente con la aplicación de fertilizantes de N sintético en pasturas, aplicación de N orgánico como fertilizante en pasturas y excretas animales depositadas en pasturas por animales que están en pastoreo (IPCC 2006). Para el N aplicado en pasturas, sea de origen orgánico o sintético, el IPCC recomienda un factor de emisión del 1% del N aplicado, mientras que para el N depositado por las excretas de animales en pastoreo, las emisiones de N₂O corresponden al 2% del N depositado (IPCC 2006).

El almacenamiento y manejo de las excretas en ganadería es una fuente de emisiones de N₂O, y se ve influenciado tanto por factores climáticos como de manejo. En este caso, el IPCC ha elaborado categorías de manejo de excretas, las cuales de acuerdo con sus características presentan diferentes factores de emisión de N₂O (IPCC 2006).

La huella de carbono

Para dimensionar el impacto ecológico de los sistemas productivos en general, se han desarrollado sistemas de medición del impacto, entre los que se encuentra la huella ecológica, huella de carbono, y la huella hídrica.

La huella de carbono es un concepto ampliamente utilizado y ha permitido tanto a tomadores de decisiones como a consumidores y empresarios conocer sobre el impacto que pueden tener ciertas actividades o productos en el cambio climático global (Wiedmann y Minx 2008). En este contexto, la huella de carbono puede ser definida como las emisiones totales de GEI relacionadas directa o indirectamente a una actividad o producto, estas emisiones son expresadas en CO₂eq (Wiedmann y Minx 2008; Lillywhite y Collier 2009). Para el sector lechero, la Federación Internacional Lechera (IDF, por sus siglas en inglés) define a la huella de carbono como la suma de los GEI emitidos a través del ciclo de vida de un producto, considerando límites del sistema, la cual se aplica a una cantidad definida de un producto específico (IDF 2010).

Según Gerber *et al.* (2010), las emisiones promedio de la producción, procesamiento y transporte de leche a nivel mundial corresponden a 2,4kgCO₂eq por kg LCGP a la puerta de la finca, con una incertidumbre del 26%. Se considera que el CH₄ representa como mínimo el 50% de las emisiones, seguido del N₂O con 27-38% y finalmente el CO₂ que representa del 5-10% de las emisiones. Este estudio además identificó que los países industrializados presentaron las menores emisiones (1-2kg CO₂eq/LCGP), mientras que los países subsaharianos presentaron las mayores emisiones, con un promedio de 7,5kgCO₂eq/LCGP. Para las regiones de Centro y Suramérica, las emisiones de GEI fueron de 3 a 5kg CO₂eq/LCGP (Gerber *et al.* 2010).

Prácticas de alimentación en ganadería

Vargas-Leitón *et al.* (2013), en un estudio realizado en fincas lecheras de Dos Pinos en Costa Rica, identificaron que la finca promedio suministra diariamente 4,5kg de concentrado y 1,2kg de suplementos por animal, de la misma manera encontraron que el 72,65% de las fincas del estudio presentan un sistema de manejo de pastoreo, lo que puede traducirse como un alto consumo de pastos en la dieta. Un estudio realizado por Baars (1998) identificó que, en zonas altas de Costa Rica, las fincas lecheras suministran una mayor cantidad de concentrados diariamente a los animales, en comparación con las fincas que se encuentran a menor altitud.

Ingresos sobre costos de alimentación (IOFC)

El IOFC es la relación existente entre la producción de leche en ingresos monetarios, sobre los costos de alimentación. Según Adkinson *et al.* (1993) esta medida sirve para evaluar el rendimiento de los programas de alimentación en ganadería. Por su parte, Wolf (2010) señala que el IOFC es una aproximación alternativa de rentabilidad, especialmente en períodos de volatilidad.

En ganaderías de leche, los costos de alimentación pueden representar del 35-50% de los ingresos brutos anuales (Adkinson *et al.* 1993).

Estrategias de mitigación de GEI en ganadería

Cottle et al. (2011) sugieren que las opciones de mitigación de CH₄ por fermentación entérica pueden dividirse en tres grupos, el primer grupo se enfoca en la ecología y manipulación del rumen, en la que se incluye los usos de aditivos y mejorar la calidad del forraje. El segundo grupo de estrategias hace referencia al mejoramiento genético de los animales, mientras que el tercero considera las prácticas de manejo de la ganadería, enfocando las estrategias en mejorar los procesos de reproducción, manejo de pastoreo y engorde (Cottle et al. 2011).

Por su parte, Gerber *et al.* (2013) a través de una revisión de literatura mencionan que la inclusión de concentrado en la dieta, la mejora de la calidad del forraje y el manejo del pastoreo pueden tener una efectividad de 0 a 30% en la reducción de emisiones de CH₄ por fermentación entérica.

En cuanto a las estrategias de mitigación de N₂O, Gerber *et al.* (2013) mencionan que el tipo de manejo, almacenamiento y aplicación de excretas influyen en las emisiones de CH₄ y otros compuestos nitrogenados. Sin embargo, estos factores inciden mínimamente en las emisiones de N₂O, por lo que mencionan que el tiempo que los animales pasan en potreros, y la calidad de la dieta, pueden tener efecto en la reducción de emisiones.

Impacto de los hábitos de consumo en emisiones de GEI en ganadería

En su reporte "Ganadería mundial 2011 La Ganadería y la seguridad Alimentaria", la FAO menciona que la ganadería aporta el 12,9% de las calorías mundiales y el 27% de las proteínas, estas suministradas en forma de carne, leche y huevos (FAO 2012). Este mismo reporte menciona que para el año 2007, la producción de carne vacuna y leche ha aumentado en un 180 y 178% respectivamente en relación con la producción registrada para el año 1967.

La revisión del año 2008 al informe de las Naciones Unidas, sobre las perspectivas de la población mundial, menciona que la población mundial sobrepasará los 9 billones de personas para el año 2050 (United Nations 2009). Este crecimiento en la población significaría un incremento del 158% en el consumo de carne bovina y leche, en relación con el consumo del 2010 (FAO 2012).

Según Steinfeld *et al.* (2006), la ganadería es responsable del 18% del total de emisiones antropogénicas, si el incremento en la producción de productos derivados de la ganadería responde al incremento en la demanda de estos productos, cabe preguntarse cómo influyen los hábitos de consumo actuales en las emisiones de GEI provenientes de actividades ganaderas. Bradshaw y Brook (2014), al modelar las consecuencias a futuro de planes de control de crecimiento de la población mundial a través de limitar las tasas de natalidad, concluyeron que estos esfuerzos por sí solos no son suficientes para mitigar los problemas ambientales de la actualidad. Sus hallazgos consideran que los esfuerzos de la sociedad serían más productivos si se dirigen hacia reducir la huella ecológica tanto como sea posible, así como alentar a la reducción en el consumo per cápita de bienes no renovables y encontrar maneras inteligentes de conservar la biodiversidad y los ecosistemas (Bradshaw y Brook 2014).

Scarborough et al. (2014), al comparar las emisiones diarias de GEI resultantes de hábitos alimenticios de personas con dietas altas en consumo de carne, consumo medio de carne, consumo bajo de carne, consumo de pescado, vegetarianas y veganas en el Reino Unido, identificó que las personas que tienen un alto consumo de carne presentan emisiones promedio diarias de 7,19kg CO₂eq, superiores en un 22% a los de dieta media en carne, 35% superior a los de consumo bajo de carne, 46% superior a los que incluyen en su dieta pescado, 47% superior a los vegetarianos y 60% superior a los de hábitos veganos.

Principales resultados

Resultados del primer artículo:

El primer artículo se enfoca en identificar y analizar las estrategias de alimentación en fincas lecheras de Dos Pinos, y sus consecuencias tanto a nivel de emisiones de GEI como económicas, expresadas en IOFC. Los principales resultados encontrados se describen a continuación:

- Existen cuatro estrategias de alimentación diferentes entre sí, que se caracterizan por presentar predominancia en el uso de cierto tipo de alimentos.
- Existe una relación aparente entre características de la alimentación y condiciones de sitio en las lecherías, se encuentra que las fincas a mayor altura presentan un mayor consumo de alimentos concentrados.
- Las estrategias que presentan mayor consumo de concentrados en la dieta, también presentan mayor producción de leche.
- La estrategia de alimentación influye en las emisiones parciales de GEI expresadas en CO₂eq/LCGP, pero solamente uno se diferencia en la estrategia del resto de estrategias.

Resultados del segundo artículo:

El segundo artículo identificó los niveles de emisión de GEI en las fincas lecheras de Dos Pinos, y se encontraron los siguientes resultados:

- Se ha identificado tres niveles de emisiones de GEI en fincas lecheras de Dos Pinos.
- Existe un conjunto de variables que explican las diferencias en el nivel de emisiones parciales de GEI entre grupos.
- Se ha obtenido una función que permite predecir las emisiones parciales de GEI en fincas lecheras especializadas de Dos Pinos.
- Se conoce la relación entre variables identificadas y grupos de fincas, de acuerdo con su nivel de emisiones.

Principales conclusiones

- Las estrategias de alimentación en fincas lecheras responden a condiciones de sitio, pero también pueden estar influenciadas por variables socio-económicas de los productores.
- Las estrategias de mitigación al cambio climático, enfocadas en reducir emisiones de GEI provenientes de ganadería de leche, deben tener enfoques que permitan incluir la variabilidad en la composición de las emisiones, para que de esta manera, los esfuerzos puedan generar resultados.
- La importancia de conocer variables que permitan predecir al menos las emisiones parciales de GEI en ganadería, puede ser utilizada a futuro como una herramienta a mejorar y aplicar en campo, para tener estimaciones de emisiones de GEI con menos incertidumbre.

Bibliografía

- Adkinson, R.; Farmer, W.; Jenny, B. 1993. Feeding practices and income over feed cost on pasture-oriented dairy farms in Louisiana. *Journal of dairy science* 76(11): 3547-3554.
- Baars, R. 1998. Nutrition management, nitrogen efficiency, and income over feed cost on dairy farms in Costa Rica. *Journal of dairy science* 81(3): 801-806.
- Berchielli, T.T.; Messana, J.D.; Canesin, R.C. 2012. Enteric methane production in tropical pastures *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 13(4): 954-968.
- Bradshaw, C.J.A.; Brook, B.W. 2014. Human population reduction is not a quick fix for environmental problems *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Disponible en <http://www.pnas.org/content/early/2014/10/23/1410465111.abstract> 10.1073/pnas.1410465111
- Caro, D.; Davis, S.; Bastianoni, S.; Caldeira, K. 2014. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock *Climatic Change* 126(1-2): 203-216. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1197-x> 10.1007/s10584-014-1197-x
- Clapp, C.; Briner, G.; Karousakis, K. 2010. *Low-emission development strategies (LEDS): Technical, institutional and policy lessons*, OECD Publishing.
- CORFOGA (Corporación ganadera, CR). 2013. *Informe Encuesta Ganadera 2012* San José, Costa Rica, 72 p.
- Costa Rica. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. 2009. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Calderón; Alvarado. eds.* San José, Costa Rica, 109 p.
- Cottle, D.; Nolan, J.; Wiedemann, S. 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review *Animal Production Science* 51(6): 491-514.

- Chacón, A.R.; Montenegro, J.; Sasa, J. 2009. Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. 78 p.
- De La Convención, Protocolo de Kyoto. 1998. Marco de Las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas 25: 27.
- Dos Pinos. 2014. Logros obtenidos (en línea). Costa Rica. Disponible en http://www.dospinos.com/app/cms/www/index.php?id_menu=160&parent_id_menu=3
- FAO. 2012. Ganadería Mundial 2011-La ganadería y la seguridad alimentaria Roma, FAO.
- Garzón, J.E.; Cárdenas, E.A. 2013. Anthropogenic emissions of ammonia, nitrates and nitrous oxide: nitrogen compounds that affect the environment in the Colombian agricultural sector *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 60(2): 121-138. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/view/40671/42444>
- Gerber, P.; Vellinga, T.; Opio, C.; Henderson, B.; Steinfeld, H. 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector A Life Cycle Assessment Africa, S 1: 94.
- 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 *animal* 7(Supplements2): 220-234. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113000876> doi:10.1017/S1751731113000876
- Hook, S.E.; Wright, A.-D.G.; McBride, B.W. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies *Archaea* 2010.
- Houghton, J.T. 1996. Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. (2).
- IDF (International Dairy Federation, USA). 2010. A Common Carbon Footprint Approach for Dairy: The IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector, International Dairy Federation.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2014. Factores de emisión gases efecto invernadero. San José, Costa Rica. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factoresemision-gei-2014_1.pdf
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. eds. Japón, IGES.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change,) 2013. Summary for Policymakers Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.;

Bex, V.; Midgley, P.M. eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)

- Johnson, K.A.; Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle *Journal of animal science* 73(8): 2483-2492.
- Lillywhite, R.; Collier, R. 2009. Why carbon footprinting (and carbon labelling) only tells half the story. *Aspects of Applied Biology* (95): 73-77.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2013. Concepto NAMA Fincas Ganaderas. San José, Costa Rica, 12 p.
- MINAET, M.d.A., Energía y Telecomunicaciones, CR). 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. San José, Costa Rica, 109 p.
- Moraes, L.E.; Strathe, A.B.; Fadel, J.G.; Casper, D.P.; Kebreab, E. 2014. Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global change biology*.
- Ramin, M.; Huhtanen, P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of dairy science* 96(4): 2476-2493.
- Scarborough, P.; Appleby, P.; Mizdrak, A.; Briggs, A.M.; Travis, R.; Bradbury, K.; Key, T. 2014. Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climatic Change* 125(2): 179-192. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1169-1>
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Agropecuaria, CR). 2000. Estudios económicos e información. *Boletín estadístico* (11): 18.
- _____. 2014. *Boletín Estadístico Agropecuario* 24: Serie cronológica 2010-2013. San José, Costa Rica, 210 p.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; Haan, C.d. 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- United Nations, D.o.E.a.S.A. 2009. *World population prospects: the 2008 revision*. New York: Department for Economic and Social Affairs.
- Vargas-Leitón, B.; Solís-Guzmán, O.; Sáenz-Segura, F.; León-Hidalgo, H. 2013. Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado. *Agronomía Mesoamericana* 2(24): 257-275. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n02_257.pdf
- Watson, R.T.; Rodhe, H.; Oeschger, H.; Siegenthaler, U. 1990. Greenhouse Gases and Aerosols. *In* Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; Ephraums, J.J. eds. 1990. *Climate Change. The IPCC scientific assessment*. . J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums ed. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. p. 40.

- Wiedmann, T.; Minx, J. 2008. A definition of 'carbon footprint'. *Ecological economics research trends* 1: 1-11.
- Wigley, T.M.L.; Barnett, T.P. 1990. Detection of the Greenhouse Effect in the Observations *In* Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; Ephraums, J.J. eds. 1990. *Climate Change. The IPCC scientific assessment*. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. p. 17.
- Wolf, C.A. 2010. Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. *Journal of dairy science* 93(10): 4942-4948. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005254>
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2998>
- Yan, T.; Mayne, C.S.; Porter, M.G. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. *International Congress Series* 1293(0): 123-126. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513106001579>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.024>

CAPÍTULO II

Impactos económicos y ambientales de las estrategias de alimentación en fincas lecheras de Costa Rica

Resumen

El sector agropecuario costarricense representa el 39% de las emisiones nacionales de CO₂eq, donde el CH₄ por fermentación entérica y el N₂O proveniente de excretas depositadas en pasturas y fertilización son los gases de mayor importancia. El compromiso de convertirse en país carbono neutral para el año 2021, ha motivado al país a desarrollar NAMAS (Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación) enfocadas principalmente en el sector ganadero. El objetivo de este estudio fue analizar las prácticas de alimentación en el sector lechero de Costa Rica y su influencia en las emisiones de GEI y en el índice Ingresos/costos de alimentación (IOFC) de fincas. El estudio se realizó en 104 fincas asociadas a la cooperativa Dos Pinos. Mediante un análisis de conglomerados se identificaron cuatro estrategias de alimentación, las cuales presentan diferencias en los tipos de alimentos que componen la ración diaria. Las emisiones de GEI, expresadas en CO₂eq/LCGP, diferencian a la estrategia uno (mayores emisiones) del resto de estrategias. El concentrado representa los mayores costos de alimentación en todas las estrategias, y significa más del 50% en la estrategia cuatro (mayores costos), mientras que los mayores gastos en fertilización de pastos se dieron en las estrategias uno y dos. Los ingresos por venta de leche diferenciaron a la estrategia uno de la cuatro. A pesar de las grandes diferencias en producción de leche por vaca por día, el IOFC no presentó diferencias entre las estrategias. Las estrategias de alimentación influyen en las emisiones de GEI y en los costos de alimentación, aunque las estrategias que presentaron menores emisiones son más dependientes de insumos externos. Se encontró una mejor calidad de los pastos en las estrategias ubicadas a mayor altura.

Palabras claves: Estrategias de alimentación, ganadería de leche en trópicos, ingresos, gastos de alimentación, emisiones GEI.

Abstract

The Costa Rican agricultural sector represents 39% of the national greenhouse gas emissions, the most important gases are CH₄ produced by enteric fermentation and N₂O emitted from pasture fertilization practices and manure deposited in pastures during grazing. The Costa Rican goal to become a carbon neutral country by 2021, has promoted the development of National Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the livestock sector. The aim of this study was to analyse feeding practices in the dairy sector in Costa Rica and the influence of this practices on GHG emissions and IOFC. This study was carried with 104 Dos Pinos dairy farms. Using cluster analysis we identified four feeding strategies, which presents feeding composition differences in daily rations. The CH₄ an N₂O emissions expressed as CO₂eq/FPCM of feeding strategy one had the highest emissions, followed by feeding strategies two, three and four.

Concentrates feeds cost was the single most important contributor to feeding cost in all feeding strategies, and represented more than 50% in feeding strategy four (highest feed costs). Pasture fertilization costs were higher in feeding strategies one and two compared to strategies 3 and 4. The income from milk sale differentiated feeding strategy one from feeding strategy 4. In spite of large differences in daily milk production, IOFC was the same for all feeding strategies. The feeding strategies influenced GHG emissions and feed costs. Strategies that had less GHG emissions were more dependent from external inputs. The grass in farms in higher altitudes was of better quality.

Key words: Feeding strategies, tropical dairy farms, income over feed cost, GHG emissions, methane, nitrous oxide, lactating cows.

Introducción

Costa Rica en su "Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010" ha expresado su compromiso de asumir el liderazgo en el tema del cambio climático. Este se oficializó con la iniciativa presidencial "Paz con la Naturaleza", en la cual se contempla el cambio climático como un tema de acción prioritario y se asume el compromiso de que Costa Rica sea un país carbono neutral para el año 2021 (MINAET 2009).

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 CO₂eq 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).

Para el año 2005, el inventario nacional de emisiones de Costa Rica determinó un total de 12,2 millones de toneladas de CO₂eq. De este total, las emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica representan el 15%, mientras que las emisiones de óxido nitroso (N₂O) en pasturas, representan el 18% del total de emisiones. A nivel general, las emisiones provenientes de la agricultura representaron el 39% del total de emisiones en CO₂eq (Chacón *et al.* 2009).

Las emisiones de metano por fermentación entérica son una pérdida de energía, según Johnson y Johnson (1995) esta pérdida puede variar de 2-12% de la energía bruta ingerida. Las emisiones de CH₄ se ven influenciadas por la composición de la dieta, y las características de los alimentos. Montenegro y Abarca (2001) al estimar las emisiones de CH₄ en dos tipos de pasturas en Costa Rica, encontraron que la producción diaria de metano aumentaba a medida

que disminuía la calidad de la pastura. De la misma manera, Cottle *et al.* (2011) señalan que la manipulación de la dieta (composición y la ingesta de alimento) es una de las estrategias de mitigación de emisiones de metano por fermentación entérica.

Las emisiones de N₂O en ganadería a nivel global son estimadas en 1,5 Tg, de estas emisiones, el 41% corresponde a excretas sólidas y líquidas manejadas en pasturas, 27% a fuentes indirectas, 19% a los desperdicios animales manejados en establos, 10% a la aplicación de desechos en campos y 3% a la quema de estiércol (Oenema *et al.* 2005). Las emisiones de N₂O provenientes de las excretas son un resultado de la ineficiencia en el uso del N consumido, y se considera que del 70-90% del N consumido por los herbívoros puede eliminarse a través de las excretas (Schils *et al.* 2013).

Los incrementos en la producción de leche contrastan con la superficie destinada a pastos a nivel nacional, la cual ha disminuido de 1,8 millones de ha en 1990 a 1,3 millones de ha en el 2011 (FAOSTAT 2012). La disminución de áreas destinadas a pastizales y el incremento de la producción de leche pueden significar que las ganaderías de leche están experimentando procesos de especialización e intensificación, lo que justificaría estos incrementos en la producción.

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. En este contexto, el objetivo de este artículo fue identificar las estrategias de alimentación en sistemas de lechería especializada, su influencia en la producción de leche, IOFC (Ingresos de venta de leche sobre costos de alimentación, por sus siglas en inglés) y emisiones parciales de CH₄ y N₂O.

Materiales y métodos

Población de estudio

Este estudio se realizó en fincas de productores asociados a la cooperativa Dos Pinos en Costa Rica; esta cooperativa cuenta con 1420 socios, de los cuales, aproximadamente el 81% corresponde a lechería especializada y el 19% a sistemas doble propósito (producción de leche y carne). En este estudio el criterio de selección de fincas consideró: fincas de lechería especializada y fincas con información completa de ingresos y egresos de la actividad ganadera correspondiente al año 2013. La predisposición de los productores para participar en una encuesta estructurada fue indispensable, con base en estos criterios, este estudio se realizó con 104 fincas.

Recolección de datos y descripción de las variables

La información correspondiente a ingresos y egresos se obtuvo mediante los programas Sical Web, Sical Excel, Infodairy y Herdboss. Esta información fue proporcionada por Dos Pinos, al igual que las coordenadas espaciales, información de áreas de manejo, producción de leche al día y contenido de proteína y grasa en la leche. El contenido de proteína y grasa en la leche Dos Pinos lo obtiene a partir del muestreo permanente de la leche producida en cada finca, esto permite mantener un eficiente control de calidad en sus productos.

La información referente a variables de ubicación espacial, altitud, piso climático, se obtuvieron mediante la utilización del software ArcMap, al interpolar las coordenadas espaciales de las fincas, en los mapas digitales de Costa Rica, que constan en el Atlas Digital de Costa Rica (Ortiz 2009). Las variables precipitación y temperatura se obtuvieron de la base de datos de World Clim 2014, donde se obtienen datos promedio de precipitación mensual y datos promedio de temperatura diaria de los últimos 50 años (Hijmans *et al.* 2005).

En los primeros meses de 2014, se realizó una encuesta estructurada con el fin de registrar información referente a: categorías de manejo de animales en el hato, composición racial del hato en porcentaje, peso vivo promedio de los animales por cada categoría de animales, cantidad de animales en cada categoría, características de la alimentación diaria por categoría de animales (tipo de alimentos, cantidad diaria en la ración), características del manejo de los animales (horas/día en establo y en potrero), manejo del estiércol, manejo de la fertilización, especies de pastos de corte y especies de pasto de piso.

Aunque la información se recolectó para todas las categorías de animales, este estudio se realizó únicamente considerando las vacas en producción presentes en el hato, esta categoría de animales emiten aproximadamente el 80% del total de metano entérico en fincas lecheras (Gollnow *et al.* 2014).

Estrategia de Alimentación

En este estudio, las estrategias de alimentación se definen como las decisiones tomadas por el productor para la alimentación diaria de las vacas en producción; en este contexto, la cantidad, calidad y tipo de alimento que suministra diariamente a sus animales hacen una estrategia. Decisiones de manejo como horas en potrero al día, áreas destinadas a potreros y pastos de corte influyen también en la oferta y consumo de materia seca (**MS**) en forma de pastos, por lo que también se han considerado como variables claves para definir las estrategias de alimentación.

Los alimentos utilizados por los productores se clasificaron en categorías, un estudio realizado por Buza *et al.* (2014) clasificó los alimentos utilizados en la ración diaria en categorías. Las categorías son: aditivos, concentrados, forraje ofrecido al animal, subproductos y pastos de piso. En la categoría aditivos, se consideraron los suplementos ofrecidos al animal, como sales minerales, grasas y levaduras. En esta categoría se incluyen los concentrados

utilizados en la alimentación animal, reportados por los productores en la encuesta, los cuales son utilizados para suplir los requerimientos de proteína y de energía del animal y poseen un alto (más de 80%) porcentaje de MS. Las características químicas de los concentrados se obtuvieron de la información proporcionada por los fabricantes. A nivel general, esta categoría tiene valores promedio de proteína cruda (**PC**) de 18,1% de la MS con una desviación estándar de 10,10 fibra neutro detergente (**FND**), 15,7% ($\pm 8,8$) de la MS y digestibilidad *in vitro* de la MS (**DIVMS**) de 85% (**Anexo 6**).

En la categoría forrajes ofrecidos, se encuentran los ensilajes, henos comprados, y pastos de corte cultivados en la finca, que se ofrecen en fresco a los animales durante el período de permanencia en el establo de los animales. La categoría subproductos incluye aquellos alimentos resultantes de procesos agroindustriales que se utilizan para la alimentación animal, como son: cáscara de piña, cáscara de banano, banano, cáscara de yuca, cascarilla de soya, etc. La categoría pastos de piso incluye todas las especies de pasto que el animal consume *ad libitum*.

En este estudio, se contabilizaron 20 especies de pastos (Anexo 2), y se tiene desde una especie hasta siete especies de pastos por finca. Frente a esta variabilidad, se tomó la decisión de agrupar las especies de pastos por género, para tener así los géneros *Axonopus*, *Brachiaria*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Festuca*, *Hemarthria*, *Ischaemum*, *Lolium*, *Panicum*, *Pennisetum* y *Setaria* en el presente estudio. A cada género de pastos se le asignó un valor porcentual de representatividad, este valor se dio en función de las áreas reportadas para cada pasto por el productor en la encuesta.

El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), se consideró de forma independiente del resto de pastos pertenecientes al género *Pennisetum*, esto debido a la diferencia en las características bromatológicas con el resto de especies de este género.

Para todos los alimentos se obtuvo información de contenido de MS, PC, FND, EE y DIVMS. Las características de los concentrados se obtuvieron de la información proporcionada por las empresas que los elaboran, mientras que la información de subproductos y pastos se obtuvo de una revisión bibliográfica de estudios realizados en Costa Rica por el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal-CINA, de la Universidad de Costa Rica (Mata 2011). Las características de los pastos se obtuvieron de una revisión bibliográfica de estudios realizados en Costa Rica durante los años 1992-2013 (Villarreal 1992; Sánchez y Soto 1996; Sánchez *et al.* 1998; Sánchez y Soto 1999a; Sánchez y Soto 1999b; Mora y Figueroa 2005; Soto *et al.* 2005; Amador *et al.* 2010; Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez 2010; Villalobos y Sánchez 2010; Villalobos *et al.* 2013).

Consumo de MS, PC, FND, y EE por vaca por día

Para la estimación del consumo diario de MS, se utilizó la metodología propuesta por NRC (2001), en la cual se predice el consumo diario de MS en función del peso vivo, de la producción de leche, % de grasa en leche y actividades relacionadas al manejo de los animales. Con el fin de obtener estimaciones de consumo de MS que reflejen de mejor manera el manejo de los productores, se incluyeron factores de energía necesaria para caminar diariamente al ordeño, caminar en potreros, energía para consumir pasto en potreros y energía requerida para

mantener la preñez (NRC 2001). El peso vivo de los animales fue calculado en función de la representatividad de las razas en el hato, por el peso reportado para cada raza por el productor.

Para estimar la MS consumida por pastos de piso, se siguió la metodología propuesta por Hardie *et al.* (2014), en la que la diferencia entre la cantidad de MS predicha por NRC y la ofrecida por el productor se asume como la cantidad proveniente de pastos. Esta cantidad se distribuyó proporcionalmente a los géneros de pastos existentes en la finca. Las características químicas de la dieta se obtuvieron al calcular el aporte de PC, FND, EE y DIVMS de cada uno de los alimentos consumidos por el animal.

En este estudio se calculó también la eficiencia en el uso de los alimentos por parte de las vacas en producción, esto se realizó dividiendo la cantidad de leche producida por día entre el total de MS consumida diariamente. Este índice de eficiencia permite conocer la relación entre consumo de alimento y producción de leche. El cálculo de eficiencia se realizó también para el N ingerido, donde se dividió el N presente en la leche, para la cantidad total ingerida.

Emisiones de metano

El cálculo de emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica se realizó utilizando la metodología propuesta por IPCC (2006), la cual calcula las emisiones en función de los requerimientos de energía y digestibilidad de la ración. Así se obtiene como resultado la cantidad de energía bruta consumida diariamente. Como se ha descrito anteriormente, los valores de requerimientos de energía neta se calcularon utilizando las ecuaciones propuestas por NRC (2001). Para el cálculo de energía requerida para caminar diariamente al ordeño, se asumió como distancia promedio 500m de recorrido de potreros a establo, por dos ordeños diarios (PesoVivo*0,00045*1km). El tipo de manejo de los animales (estabulado, semiestabulado, pastoreo) se consideró para calcular la energía requerida para ingesta de pastos en potreros, de esta manera, para los animales con manejo semiestabulado se utilizó la mitad del valor recomendado por NRC (2001), mientras que para animales en pastoreo se utilizó el valor total recomendado (0,002Mcal/kgPeso Vivo^{0,75}).

Emisiones de óxido nítrico

La información recolectada en la encuesta permitió identificar las estrategias de fertilización para áreas destinadas a pastos de corte y potreros, de esta manera se registró la aplicación mensual por hectárea de fertilizantes nitrogenados por cada uso del suelo. El nitrógeno total aplicado en cada uso de suelo se obtuvo multiplicando la cantidad aplicada por ha de fertilizante, por el número de meses de aplicación y por el % de contenido de Nitrógeno.

Las emisiones de N₂O en fincas provienen de dos fuentes, una orgánica y otra sintética. La fuente orgánica proviene del estiércol depositado en pasturas, mientras que las emisiones por fuentes sintéticas provienen de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en suelos.

Para las emisiones por fuentes orgánicas se consideró solamente las excretas durante el tiempo que las vacas permanecen en potreros, obviándose en este estudio las excretas manejadas en el establo, por carecer de información fiable. Las emisiones provenientes de estas excretas se calcularon utilizando la metodología propuesta por IPCC (2006), donde se indica que el 2% del nitrógeno de las excretas depositadas en los potreros se emiten en forma de N₂O. La métrica propuesta por IPCC exige convertir las emisiones de N₂O-N en N₂O, multiplicando las emisiones por 1.57 (44/28). Esta metodología propuesta considera el contenido de N presente en las excretas, el mismo que se obtuvo siguiendo la metodología de balance del nitrógeno en los animales, propuesta por Van Horn *et al.* (1994), donde se asume que el contenido de N en las excretas es igual a la diferencia entre el N ingerido en la ración menos el exportado diariamente en leche. El N ingerido en la dieta fue calculado asumiendo que es el valor resultante de dividir %PC entre 6,25 NRC (2001), mientras que el N exportado en la leche fue calculado a partir del contenido de PC en leche, dividido entre 6,38 (Scott 1986). El valor de PC en leche fue obtenido de la base de datos de Dos Pinos.

Las emisiones de N₂O provenientes de fuentes sintéticas se obtuvieron a partir de la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados aplicados en la finca anualmente. Los datos fueron obtenidos en la encuesta realizada, esta consultó la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados por hectárea y por mes en dos usos de suelo: en pastos de corte y potreros. IPCC (2006) estima que las emisiones de N₂O-N corresponden al 1% del N aplicado en forma de fertilizantes sintéticos. Estas emisiones se estandarizaron a N₂O de la misma manera en que se realizó en las emisiones por fuentes orgánicas.

Emisiones en CO₂eq por kilogramo de leche estandarizada a contenido de proteína y grasa

Las emisiones de CH₄ y N₂O se estandarizaron a su potencial de calentamiento atmosférico, expresado en emisiones de CO₂ para un período de 100 años. El potencial de calentamiento atmosférico se entiende como la relación entre el forzamiento radiativo de un kilogramo de gas de efecto invernadero emitido a la atmósfera y el de un kilogramo de CO₂, en un período de tiempo determinado IPCC (2006). De esta manera, se tiene que el CH₄ tiene un potencial de calentamiento de 21, mientras que para el N₂O el potencial de calentamiento es de 310 en comparación con el CO₂. Estos valores son los aceptados por el Instituto Meteorológico Nacional, responsable del inventario de emisiones de Costa Rica (Houghton *et al.* 1996; IMN 2014).

Los datos de contenido de proteína y grasa en leche muestran una alta heterogeneidad, que está asociada a las características productivas de las razas lecheras, así como por las características de la alimentación. Para obtener mediciones que puedan ser comparables entre sí, se estandarizó la producción de leche a su contenido de proteína y grasa (**LCPG**). Esto se realizó mediante la ecuación propuesta por la Federación Internacional Lechera (IDF, por sus siglas en inglés), donde:

LCPG (kg/día)= Producción diaria de leche* (0,1226*grasa en leche+0,0776*proteína en leche+0,2534) (IDF 2010).

Gastos directos de alimentación

En el presente estudio 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 (colones) 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 de subproductos como cáscara de piña y banano, se utilizó el costo del transporte. Esta información se recolectó mediante grupos focales de discusión realizado con productores que participaron en este estudio.

El valor de la alimentación aportada por los pastos se estimó a partir de los costos de fertilización anual de pastos y pastos de corte. El valor total de fertilización en estas áreas se dividió para 365 y posteriormente para el número total de vacas en producción en finca. El valor resultante es el costo por animal por día de alimentación por consumo de pastos. Si bien este valor no refleja el costo de kg de MS de pasto consumida, esta estimación permitió obtener un valor referencial y parcial del costo de pastos consumido por animal diariamente.

En los ingresos por venta de leche, para las fincas en este estudio, se realizó el cálculo de ingresos diarios por venta de leche; este valor fue calculado en colones/día. Para esto se utilizó el precio promedio anual del kg de leche vendido, dato reportado por Dos Pinos. Este valor se multiplicó por la producción promedio por animal diariamente.

Los ingresos sobre costos de alimentación (IOFC, por sus siglas en inglés) se definen como los ingresos por venta de leche menos los costos de alimentación, y son considerados una medida de ingresos monetarios, en vez de una relación (Wolf 2010). Este valor puede ser calculado por día o por mes (Wolf 2010; Hardie *et al.* 2014). En este estudio se calculó el IOFC diario por animal en producción mediante la siguiente ecuación: IOFC (colones/vaca lactante) = ingreso diario por venta de leche - gastos diarios en alimentación de animal en producción.

Análisis Estadístico

Datos fueron manejados con el software estadístico INFOSTAT. Para identificar las estrategias de alimentación existentes, se utilizó técnicas de análisis multivariado, como es el análisis de conglomerados. Para este análisis se utilizó los porcentajes de representatividad de cada tipo de alimento en la dieta, áreas destinadas a potreros y pastos de corte, y el tiempo que los animales pasan diariamente en potreros.

En el análisis de conglomerado realizado, se utilizó el método de agrupamiento jerárquico de Ward. Este método fue escogido porque minimiza la pérdida de información en cada unión de conglomerados, mientras que para la medición de distancias se utilizó la medida de distancia

Euclídea, por ser el recomendado para tipo de datos cuantitativos (Balzarini *et al.* 2008). Para este análisis se utilizó el criterio de corte o diferenciación de conglomerados al 50% del total de la distancia, y se obtuvieron cuatro conglomerados.

Para establecer si existen diferencias entre los conglomerados, se aplicó un análisis de la varianza no paramétrica, con la prueba de Kruskal-Wallis. Este análisis de la varianza no paramétrica permite comparar la esperanza de dos o más distribuciones, sin la necesidad de comprobar el supuesto de distribución normal de los términos de error (Balzarini *et al.* 2008).

Resultados

Las 104 fincas estudiadas están ubicadas en las provincias de Alajuela, Cartago, Guanacaste, Heredia y San José, en altitudes desde los 100 hasta los 2400 metros sobre el nivel del mar (msnm) y en los pisos climáticos Basal, Montano bajo y Premontano (Ortiz 2009).

Los resultados de la estadística descriptiva muestran que la producción promedio de leche es de 14,8kg por vaca por día con una desviación estándar de 5kg. Estos valores son inferiores a los reportados por Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar (2014), que reportaron una producción diaria media de 19kg, con una desviación estándar de 6kg.

Los resultados de la encuesta muestran que la raza predominante es la Jersey, con 39,5%, seguida de las razas Holstein y Mestiza con 30,6 y 24,6% respectivamente. El consumo promedio diario de MS por vaca lactante es de 16,01kg, con una desviación estándar de 2,57kg. Los pastos de piso son los que aportan con el $52,3 \pm 18,9\%$ del consumo total de MS, mientras que los concentrados aportan el $29,5 \pm 10,6\%$ del consumo total de MS. Los forrajes ofrecidos (henos, ensilajes, pastos de corte) y los subproductos aportan con un $9,3 \pm 11,3$ y $8,8 \pm 13,1\%$ del total respectivamente.

El análisis de conglomerados permitió agrupar las fincas que tienen estrategias de alimentación similares, en función de las variables seleccionadas para construir estas estrategias. Con un criterio de diferenciación de conglomerados al 60% de la distancia, Se identificaron cuatro grupos de fincas, tal como se puede ver en la *Figura 1*.

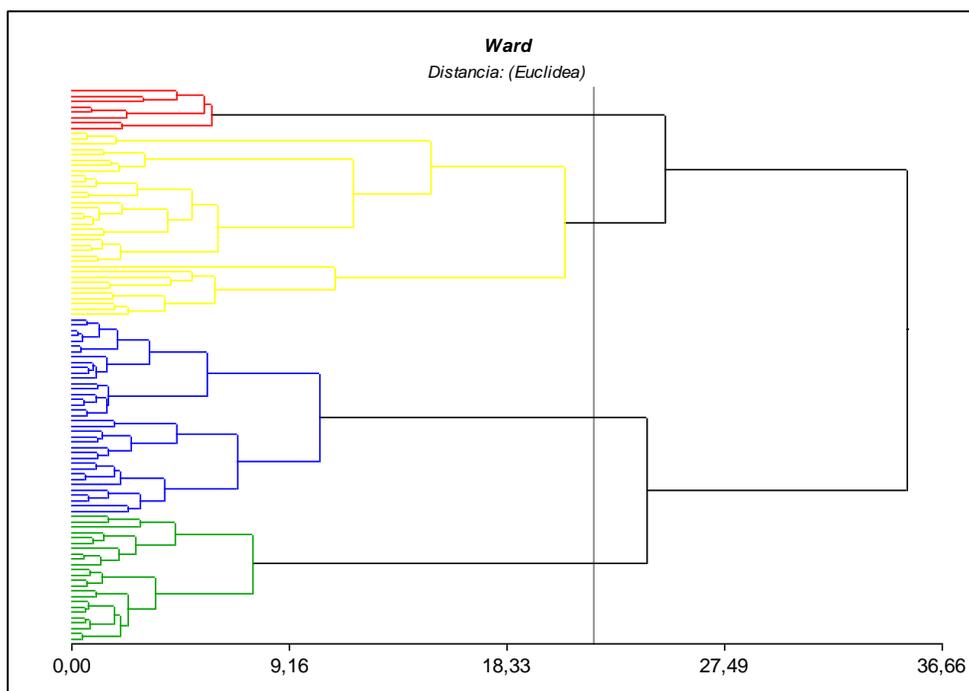


Figura 1. Dendrograma análisis de conglomerados
 Colores diferencian los cuatro conglomerados. Verde: conglomerado 1; Amarillo: conglomerado 2; Azul: conglomerado 3; Rojo: conglomerado 4.

Descripción de conglomerados

El conglomerado 1 agrupa 24 fincas, en las cuales predominan las razas Jersey (42%) y Mestiza (32%); en promedio cuenta con 57 vacas en producción. Presenta el menor consumo diario de MS por animal (15,3kg), tal como se puede apreciar en el Cuadro 1. Su área promedio es de 48 hectáreas y se encuentran a una altura promedio de 383msnm, estas son las fincas que se encuentran a menor altura en comparación con el resto de conglomerados (ver Cuadro 1).

El conglomerado 2 agrupa a 35 fincas, presenta la mayor cantidad de vacas en producción por finca, con un promedio de 66 vacas. Las razas predominantes son Jersey con 40% y Holstein con 36%. La altura promedio de estas fincas es de 746msnm y un área total de finca de 57,3 hectáreas, área superior al resto de conglomerados.

El conglomerado 3 agrupa 8 fincas, presenta la menor área total por finca (32,4ha). Como promedio cuenta con 48 vacas en producción, con predominancia de las razas Jersey (41%) y Mestiza (31%). Los subproductos representan el 46% del total de la MS ingerida diariamente por las vacas en producción (Cuadro 1). Se encuentra a una altura promedio de 650msnm. En relación con el resto de conglomerados, presenta la menor área total de fincas (32,3ha), de los cuatro conglomerados, tal como se puede ver en el Cuadro 1.

El conglomerado 4 agrupa 37 fincas, con un promedio de 48 vacas en producción por finca, predomina la raza Holstein (38%), seguida de la raza Jersey (37%). Este conglomerado presenta el más alto consumo diario de MS por animal (17,1kg) y mayor consumo de concentrado en la dieta (38%), según se puede ver en el Cuadro 1. Sus fincas están a mayor altura (908msnm).

Cuadro 1. Características generales de los conglomerados

Variable	Conglomerado			
	1(D.E.)	2(D.E.)	3(D.E.)	4(D.E.)
Fincas (N)	24	35	8	37
Vacas en producción (n)	56,6 (±30,8)	65,9 (±47,4)	47,6 (±19,8)	47,8 (±25,9)
Raza Holstein (%)	15,4 (±32,2)	36,5 (±38,2)	15 (±22,7)	38,3 (±40,7)
Raza Jersey (%)	42,3 (±41,9)	40,0 (±34,1)	41,3 (±37,6)	37,0 (±37,2)
Raza Mestiza (%)	31,9 (±42,2)	20 (±30)	31,3 (±35,6)	22,7 (±30,5)
Consumo de materia seca (kg/día)	15,25 (±2,16)	15,42 (±2,44)	16,03 (±2,22)	17,1 (±2,75)
Área total (ha)	48,0 (±27,6)	57,3 (±46)	32,3 (±14,0)	42,3 (±26,7)
Altitud (msnm) ¹	383 (±410)	746 (±682)	650 (±754)	908 (±630)

¹ msnm = metros sobre nivel del mar

Descripción de las estrategias de alimentación

En este estudio, los cuatro grupos resultantes del análisis de conglomerados se definen como estrategias de alimentación.

El porcentaje de pastos de piso en la dieta presentó diferencias significativas entre los cuatro conglomerados, así se tiene que las fincas del conglomerado 1 (verde) son las que tienen un mayor consumo de pastos de piso, con 70,9%, seguidas por los conglomerados 2 (amarillo), 4 (azul) y 3 (rojo) con 52,8, 47,1 y 18,7% respectivamente. La variable área de pastos de cortes diferenció al conglomerado 1 con 0,5ha del resto de conglomerados, tal como se puede observar en el Cuadro 2. Mientras que el conglomerado 2, con 3,6ha presenta el área más grande destinada a pastos de corte, diferenciándose del conglomerado 4 con 1,2ha.

Los subproductos representan el 46% del total de la materia seca consumida en el conglomerado 3, este es diferente del conglomerado 4, con un 7,8% de consumo, y de los conglomerados 1 y 2, con 4,1 y 4,4% respectivamente. La variable forrajes ofrecidos permitió diferenciar a los conglomerados 2 y 4 de los conglomerados 1 y 3 (Cuadro 2), mientras que la variable horas en potreros identificó al conglomerado 2 con 13,1 horas/día, como el de menor tiempo en potreros, y diferente del resto de conglomerados. El área destinada a potreros no presentó diferencias estadísticas entre los conglomerados, aunque el conglomerado que presenta las menores áreas promedio es el 4, con 14,8ha, mientras que el de mayor área es el conglomerado 2, con 24,6ha.

Cuadro 2. Características de alimentación de vacas en lactancia entre los conglomerados

Variable	Conglomerado				P
	1	2	3	4	
Concentrado (%) ¹	22,9 ^A (±7,3)	26,2 ^A (±10,5)	26,3 ^A (±7,5)	37,7 ^B (±7,8)	<0,001
Subproductos (%) ¹	4,1 ^A (±4,8)	4,4 ^A (±7,4)	46,0 ^C (±15,9)	7,8 ^B (±5,9)	<0,001
Forraje ofrecido (%) ¹	2,1 ^A (±3,8)	16,6 ^B (±14,6)	9,1 ^B (±9,3)	7,2 ^A (±7,0)	<0,001
Pastos de Piso (%) ¹	70,9 ^D (±8,1)	52,8 ^C (±17,9)	18,7 ^A (±17,4)	47,1 ^B (±10,5)	<0,001
Horas potrero al día	20 ^B (±2,5)	13,1 ^A (±2,8)	17,6 ^B (±4,8)	18,4 ^B (±2,3)	<0,001
Área Pastos corte (ha)	0,5 ^A (±1,0)	3,6 ^C (±4,9)	2,6 ^{BC} (±3,4)	1,2 ^{AB} (±1,7)	<0,001
Área potreros (ha)	19,8 (±9,0)	24,6(±19,9)	16,5(±9,2)	14,8(±6,7)	NS

¹: Porcentaje en la MS de la ración

^{A, B}: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

El contenido de PC no presentó diferencias significativas entre estrategias, en todos los tipos de alimentos utilizados. Se tiene valores promedio de 16,9±3,47% de la MS para concentrados, 6,1±1,6% de la MS para subproductos, 11,3±5,1% de la MS para forrajes ofrecidos y 12,3±2,9% de la MS de pastos de piso.

El contenido de FND presentó valores similares en todas las estrategias para pastos de piso (67,2±5,1% de la MS), concentrados (14,9±1,3% de la MS) y forraje ofrecido, con 67,7±5,3% de la MS. En el caso de los alimentos tipo subproductos, el contenido de FND diferenció a las estrategias 1 y 4 con 24,8±13,9 y 31,4±16,5% de la MS, de las estrategias 2 y 3 con 43,5±25,6 y 37,8±13,6% de la MS respectivamente.

El EE presente en los alimentos de tipo forrajes ofrecidos no presentó diferencias entre estrategias, teniéndose valores promedio de 0,86, con una desviación estándar de 1,47% de la MS de forrajes ofrecidos. En los concentrados, el EE diferenció a la estrategia 2 (con 3,2±2,8% de la MS) como de menor contenido de EE, de la estrategia 4 (3,3±1,4% de la MS) como contenido medio de EE, y de la estrategia 3 (4,0±0,86% de la MS) como de mayor contenido de EE. La estrategia 1, a pesar de presentar el promedio más alto de EE (4,7%), su alta desviación estándar (4,26) la identifica como similar a las estrategias 4 y 3, pero diferente a la estrategia 2.

La digestibilidad de la MS en pastos de piso y pastos de corte presentó diferencias entre las estrategias, teniéndose a la estrategia 1 (66±1,9%) como de menor digestibilidad, diferente de la estrategia 4 (67,4±1,6%) de mayor digestibilidad. Las estrategias 2 y 3 presentaron valores similares de digestibilidad de la MS (67,2±1,4 y 64,6±5,8% para las estrategias 2 y 3 respectivamente).

Las estrategias de alimentación presentaron diferente composición de pastos de piso, es así que en la estrategia 1 los pastos están representados por los géneros *Brachiaria* (40%), *Cynodon* (32%) e *Ischaemum* (23%), mientras que en la estrategia 2 están presentes *Brachiaria* (47%), *Cynodon* (27%), *Pennisetum Clandestinum* (15%) e *Ischaemum* (9%). Los géneros de mayor importancia en la estrategia 3 son *Brachiaria* (49%), *Cynodon* (25%), *Ischaemum* (13%) y *Pennisetum Clandestinum* (13%), mientras que en la estrategia 4, la representación de pastos es la siguiente: *Brachiaria* (39%), *Cynodon* (32%), *Pennisetum Clandestinum* (20%), *Ischaemum* (3%) y *Lolium* con un 2%.

El porcentaje de proteína en la ración diaria ubicó a la estrategia 3 (10,5%) como la de menor contenido y diferente del resto de estrategias, mientras que la estrategia 4 (13,5%), es la que presentó el mayor contenido de proteína, valor diferente de la estrategia 1, con 12,3%, pero igual a la 2, con 12,7%, según se puede observar en el Cuadro 3. Existe una relación directa entre contenido de fibra neutro detergente y digestibilidad de la ración, así se encontró que las estrategias 1 y 2, que presentan 55,2 y 52,3% de fibra neutro detergente en la ración, presentan también los valores más bajos de digestibilidad, con un 70,0 y 71,1%. Estas estrategias son estadísticamente diferentes entre sí, y del resto de estrategias. La estrategia 3 y 4 presentaron los valores más altos de digestibilidad con 75,7 y 73,3% respectivamente, mientras que sus valores de fibra neutro detergente fueron de 40,0 y 44,4% de la MS, La digestibilidad logró diferenciar a todas las estrategias.

Las características nutricionales descritas tienen una influencia directa en la producción de leche, es así que se tiene que las fincas de la estrategia 4 presentan la mayor producción de leche, con una producción diaria promedio de 16,6 kgLCPG/animal, mientras que el resto de estrategias presentan valores estadísticamente similares con 12,7, 14,12 y 14,14 kgLCPG/animal/día para las fincas de las estrategias 1, 2 y 3, respectivamente. La eficiencia alimenticia diferencia a las estrategias 2 y 4 (0,91 y 0,96) de la estrategia 1 (0,81), mientras que la estrategia 3 presenta valores similares a todas las estrategias con 0,86, tal como se puede ver en el Cuadro 3. La proteína en la leche diferenció a la estrategia 2 (menor contenido) del resto de estrategias, mientras que el porcentaje de grasa en la leche diferenció a la estrategia 1 de la estrategia 2. Las estrategias 3 y 4 presentan contenidos similares de grasa (Cuadro 3).

En cuanto a la eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno ingerido, la estrategia 3 presentó la mayor eficiencia, con un 27,5%. Se diferencia del resto de estrategias, las cuales presentan valores de 21,6%, 22,2% y 23,0 para las estrategias 1, 2 y 4 respectivamente. Esta eficiencia puede evidenciarse en la cantidad de nitrógeno presente en las excretas, donde se tiene que las estrategias que presentaron mayor eficiencia presentan un contenido más bajo de nitrógeno en las excretas. De esta manera, la estrategia 4 presenta los valores un mayor contenido de nitrógeno en excretas con 285,3 gr/animal/día, lo cual es diferente del resto de estrategias, que presentan un contenido de 250,8, 235,5 y 200,1 gr/animal/día para las estrategias 2, 1 y 3 respectivamente.

En el presente estudio se diferenció las excretas manejadas en el establo de las depositadas en los potreros, mientras los animales se encuentran en ellos. De esta manera la cantidad de nitrógeno presente en la excretas y depositado en los potreros, dependerá también de las horas que los animales permanecen en los potreros. Así las fincas de las estrategias 4 y 1 presentan valores de 219 y 196,8 gr/animal/día de nitrógeno proveniente de excretas depositadas en pasturas, valores estadísticamente diferentes de las estrategias 3 y 2, que presentan una deposición de nitrógeno por excreta en pasturas de 150,8 y 133,8 gr/animal/día respectivamente.

El análisis de la varianza univariada no encontró diferencias estadísticas en la cantidad de nitrógeno sintético aplicado en pastos de piso y pastos de corte, sin embargo, las fincas que presentan una mayor área destinada a pastos de piso (estrategia 2, Cuadro 1) son aquellas que presentan una mayor aplicación de fertilizantes por hectárea y por año (211,1 kg), seguidas

por las fincas de las estrategias 4, 1 y 3 con 174,6, 146,7 y 112,2 kg N/ha/año respectivamente. Esta tendencia se mantiene en fertilización de áreas de pasto de corte, las estrategias 3 y 2 que presentan las áreas más grandes, también presentan los valores más altos en fertilización (105,7 y 101,9 kg N/ha/año respectivamente). Las fincas de la estrategia 4 aplican 101,4 kgN/ha/año, mientras que las de la estrategia 1 aplican la menor cantidad de N en pastos de corte (38,1 kg/ha/año).

Cuadro 3. Características de las estrategias de alimentación

Variable	Conglomerado				P
	1	2	3	4	
Proteína Cruda (% MS) ¹	12,3 ^{AB} (±1,8)	12,9 ^B (±2,4)	10,5 ^C (±2,4)	13,5 ^A (±1,5)	0,001
Fibra Neutro detergente (% MS) ¹	55,2 ^A (±4,2)	52,3 ^A (±7,3)	40,0 ^B (±9,9)	44,4 ^B (±5,1)	<0,001
Digestibilidad (% MS) ¹	70,0 ^C (±1,6)	71,1 ^B (±2,3)	75,7 ^A (±2,3)	73,3 ^A (±1,7)	<0,001
Eficiencia consumo Alimento	0,81 ^B (±0,16)	0,91 ^A (±0,17)	0,86 ^{AB} (0,14)	0,96 ^A (±0,17)	<0,01
Eficiencia en el uso del N (%) ²	21,6(±4,6)	22,2(±3,1)	27,5(±6,5)	23,0(3,7)	NS
LCPG (kg/día) ³	12,7 ^B (±3,8)	14,1 ^B (±4,6)	14,1 ^{AB} (±3,5)	16,6 ^A (±4,8)	<0,1
Proteína en leche (%)	3,28 ^A (±0,13)	3,18 ^B (±0,14)	3,32 ^A (±0,14)	3,28 ^A (±0,25)	<0,1
Grasa en leche (%)	4,11 ^A (±0,26)	3,95 ^B (±0,21)	4,14 ^{AB} (±0,34)	4,02 ^{AB} (±0,30)	<0,1

¹: Porcentaje en la MS de la ración

² Eficiencia en el uso del N = 100 x [Nitrógeno en la leche (g/d) dividido por Nitrógeno ingerido (g/d)]

³LCPG = Leche corregida a su contenido de proteína y grasa por IDF (2010).

^{A, B}: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

Emisiones de CH₄ y N₂O

El cuadro 4 presenta el impacto de las estrategias de alimentación en las emisiones de CH₄ y N₂O. A nivel general, las emisiones diarias de metano por vaca en producción no presentaron diferencias significativas entre las estrategias. El N₂O proveniente de excretas manejadas en pasturas, identificó a la estrategia 2 como de menores emisiones diarias, diferente de las estrategias 1 y 4, que presentaron las emisiones diarias más altas, con 6,2 y 6,9 gr/N₂O por vaca lactante (Cuadro 4). La estrategia 3 presentó emisiones similares a las estrategias 1 y 2, pero menores a la estrategia 4. A pesar de que las emisiones de N₂O provenientes de la fertilización sintética de pastos de piso no presentó diferencias entre estrategias, la fertilización de pastos de corte diferenció a las estrategias 1 y 4 de la estrategia 2, mientras que la estrategia 3 presenta emisiones similares al resto de estrategias.

Las emisiones de CH₄, expresadas en gramos de CH₄/kg LCPG, identificaron a la estrategia 1 como la de mayor producción de CH₄ por kilogramo de LCPG, con una media de 21,9 gramos, lo que la diferencia del resto de estrategias de alimentación (Cuadro 4).

Las emisiones estandarizadas a CO₂eq/LCGP de CH₄, diferencian a la estrategia 1 de las estrategias 2 y 3 como la de mayores emisiones, aunque es similar a la estrategia 4. En el caso del N₂O proveniente de excretas, este identificó a la estrategia 1 como la de mayores emisiones, y a la estrategia 2 de menores emisiones. La estrategia 3 presenta emisiones similares a las estrategias 2 y 4, mientras que la estrategia 4 presenta emisiones similares a 1 y 3 (Cuadro 4). Las emisiones provenientes de fertilización sintética no presentaron diferencias entre estrategias. Las emisiones parciales en CO₂eq/LCPG identificaron a la estrategia 1 como la de mayores emisiones, diferentes al resto de estrategias (Cuadro 4).

Cuadro 4. Impacto de las estrategias de alimentación en las emisiones

Variable	Conglomerado				P
	1	2	3	4	
Emisiones (g/día)					
CH ₄ ¹ (g/día)	267,0(±47,9)	264,6(±51,5)	247,5(±38,2)	292,2(±61,1)	NS
N ₂ O excretas ² (g/día/v)	6,2 ^{AB} (±1,8)	4,2 ^C (±1,4)	4,7 ^{BC} (±2,5)	6,9 ^A (±1,9)	<0,001
N ₂ O fertilización sintética pastos piso ³ (g/día/ha)	6,4(±4,8)	9,1(±7,4)	4,9(±3,6)	7,6(±8,2)	NS
N ₂ O fertilización sintética pastos corte ³ (g/día/ha)	1,6 ^B (±4,5)	4,4 ^A (±5,6)	4,6 ^{AB} (±5,1)	4,4 ^B (±11,8)	0,0015
CH ₄ /LCPG ⁴ (g/kg)	21,9 ^A (±3,8)	19,7 ^B (±3,4)	18,01 ^B (±2,9)	18,0 ^B (±1,9)	<0,001
Emisiones (g CO ₂ eq/kg LCPG)					
CH ₄	0,46 ^A (±0,08)	0,41 ^B (±0,07)	0,38 ^B (±0,06)	0,38 ^B (±0,04)	<0,001
N ₂ O excretas	0,16 ^A (±0,05)	0,10 ^C (±0,03)	0,11 ^{BC} (±0,05)	0,13 ^{AB} (±0,03)	<0,001
N ₂ O Fertilización sintética	0,06(±0,05)	0,08(±0,09)	0,04(±0,04)	0,06(0,08)	NS
Emisión Parcial ⁵	0,68 ^A (±0,15)	0,59 ^B (±0,14)	0,53 ^B (±0,10)	0,57 ^B (±0,11)	<0,01

1 Emisiones de CH₄ por fermentación entérica por animal

2 Emisiones de N₂O por excretas depositadas en potreros por animal

3 Emisiones de N₂O por hectárea por aplicación de fertilizantes sintéticos

4 Leche corregida a contenido de proteína y grasa

5 Suma de las emisiones calculadas, expresadas en CO₂eq/LCPG

^{A, B}: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

El análisis de los gastos directos en alimentación diferenció a las estrategias en dos grupos, gastos altos (estrategias 3 y 4), y bajos (estrategias 1 y 2). Los gastos en compra de concentrados representan el 63, 62, 51 y 76% de los gastos en alimentación para las estrategias 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Estos resultados están en concordancia con la representatividad que tienen los alimentos en cada estrategia de alimentación.

Cuando se realizó el análisis de los gastos directos por tipo de alimento en cada estrategia, se pudo identificar que los concentrados representan más del 50% de los costos de alimentación en las estrategias 1, 2 y 4, mientras que en la estrategia 3 representa el 49% (Cuadro 5). La estrategia 1 presentó el menor gasto en concentrados con 811±456 colones/animal/día, aunque similar a las estrategias 2 y 3, mientras que la estrategia 4

presenta el costo más alto en consumo de concentrados, con 1660 ± 415 colones/día. Este es superior a la estrategia 1 en casi un 100% (Cuadro 5). Los gastos en subproductos identifican a la estrategia 3 como diferente del resto de grupos, con 818,5 colones/día. Los gastos en heno y ensilaje no presentaron diferencias significativas entre estrategias, al igual que los gastos incurridos en fertilización de pastos de piso. En el caso de los gastos por fertilización de pastos de corte, este diferenció a la estrategia 2 (mayores gastos), de las estrategias 1 y 4. La estrategia 3 presenta gastos similares a todas las estrategias (Cuadro 5).

Los ingresos diarios por venta de leche diferenciaron a la estrategia 4 (mayor ingreso) de la estrategia 1 (menor ingreso), mientras que las estrategias 2 y 3 presentan valores similares a todas las demás estrategias (Cuadro 5). El análisis de los ingresos sobre los costos de alimentación (IOFC) expresado por vaca/día no presentó diferencias significativas entre estrategias (Cuadro 5).

Cuadro 5. Gastos en alimentación e Ingresos Sobre Costos de Alimentación (IOFC)

Variable	Conglomerado				P
	1	2	3	4	
Gastos (colones/día)					
Concentrado	811 ^B (±456)	1006,2 ^B (±519)	1137,1 ^B (±388)	1660 ^A (±415)	<0,001
Subproductos	94,8 ^B (±106)	115,3 ^B (±248)	818,5 ^A (±692)	210,6 ^A (±151)	<0,001
Ensilajes y heno	69,9(±208)	188,7(±596)	204,4(±362)	89,9(±152)	NS
Fertilización pastos piso	233,7(±179)	271,6(±350)	131,6(±112)	192,1(±184)	NS
Fertilización pastos de corte	2,10 ^B (±6,3)	29,8 ^A (±67,7)	19,8 ^{AB} (±29,8)	9,41 ^B (±25,3)	<0,001
Total gastos alimentación	1211,5 ^B (±574)	1617,9 ^B (±1024)	2311,3 ^A (±918)	2192,8 ^A (±525)	<0,001
Ingresos ¹ (colones/día)	3676 ^B (±1108)	4114 ^{AB} (±1351)	4097 ^{AB} (±1077)	4841 ^A (±1453)	<0,1
IOFC ² (colones vaca/día)	2465(±826)	2497(±1262)	1786(±647)	2649(±1240)	NS

1 Ingresos por venta de leche

2 Income Over Feed Cost

A, B: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

Discusión

Las NAMA ganadería de Costa Rica han planteado diferentes medidas que permitirían mitigar emisiones y lograr una ganadería eco-competitiva, las mismas que han sido seleccionadas por su potencial de mitigación, factibilidad técnica y su potencial transformacional en el sector ganadero (MAG 2013). El presente estudio aporta al fortalecimiento de las NAMA ganadería, mediante la identificación de las estrategias de

alimentación en fincas lecheras, las mismas que tienen impactos en aspectos productivos, económicos y ambientales de las fincas lecheras.

Los resultados presentados en el Cuadro 2 sugieren que las estrategias tienen una configuración distinta en el uso de alimentos en la dieta, en el tiempo que pasan los animales en potreros y en la superficie destinada a pastos de corte. Estas variables hacen que cada estrategia sea distinta y tenga características particulares que afectan en los aspectos antes descritos.

Las estrategias de alimentación que presentan mayor presencia de animales de la raza Holstein y un mayor porcentaje de concentrados en la dieta (estrategias 3 y 4), presentan también los valores más altos de producción de leche, esto en comparación con las estrategias 1 y 2. Para establecer una mejor relación entre dieta y producción de leche, se utilizó el valor de eficiencia alimenticia, donde los resultados muestran que las estrategias 2 y 4 son similares entre sí, pero diferentes de la estrategia 1, y la estrategia 3 es similar a todas las estrategias. Estos resultados sugieren que los animales en la estrategia 2 y 4 presentan un mayor aprovechamiento del alimento consumido (en comparación a la estrategia 1). Estos resultados son similares a los encontrados por Sehested *et al.* (2003), quienes al comparar la producción de leche en fincas orgánicas, en donde se probó el efecto de la inclusión de concentrados a diferentes niveles en la dieta de vacas lecheras, encontraron una reducción del rendimiento de 19 y 8% en los grupos alimentados con 0 y 19% de MS en la dieta aportada por concentrados. Esto en comparación con el grupo en el que los concentrados representaban el 38% de la MS de la dieta.

Bargo *et al.* (2002) y Sehested *et al.* (2003) encontraron que dietas con mayor uso de concentrado presentan un mayor porcentaje de PC en la leche. En el estudio realizado por Sehested *et al.* (2003), reportaron mayor contenido de PC en leche en las estrategias con mayor porcentaje de concentrados en la dieta (3,39 y 3,36% de PC, en dietas con 38 y 19% con concentrados), en comparación con la dieta sin concentrados, la cual presentó 3,28% de PC en leche. En este estudio, el porcentaje de PC en leche diferenció a la estrategia 2 con $3,18 \pm 0,14\%$ de PC en leche, como la de menor PC, mientras que las estrategias 1, 3 y 4 no presentaron diferencias significativas, con $3,28 \pm 0,13$, $3,32 \pm 0,14$ y $3,28 \pm 0,25\%$ de PC, para las estrategias 1, 3 y 4 respectivamente. Los valores reportados por Sehested *et al.* (2003) de porcentaje de grasa en leche, muestran una tendencia distinta a la PC, en donde la dieta de mayor consumo de concentrados (38% de la MS en la dieta) presentó el menor contenido de grasa (4,11%). Este resultado es similar al reportado en este estudio, donde la estrategia 1 (menor consumo de concentrado) presentó el porcentaje más alto de grasa en leche ($4,11 \pm 0,26\%$).

La estrategia 4 presentó el mayor contenido de PC en la dieta ($13,5 \pm 1,5$), aunque existe la posibilidad de que este valor pueda ser inferior al real en dietas de fincas lecheras de Dos Pinos (Héctor León, Gerente de Transferencia Tecnológica. Dirección Agrocomercial y de Servicios al Asociado. Cooperativa de Productores de Leche. Dos Pinos R. L. comunicación personal, 06 de agosto 2014). Sin embargo, experiencias del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, reportan un 12% de PC y 44,8% de FND en dietas de vacas Jersey/Holstein-cruzadas, con una producción diaria de leche de 15kg (Augusto Rojas Bourrillon, CINA, comunicación personal, 16 de agosto del 2014). La eficiencia en el consumo

de alimento parece estar relacionada con el contenido de PC en la dieta, y este a su vez, a la presencia de concentrados, puesto que las estrategias que presentan el mayor contenido de PC también presentan mayor eficiencia en el uso del alimento. A pesar de que la estrategia 3 reportó el menor contenido de PC en la dieta, presenta una eficiencia alimenticia similar al resto de estrategias. Esta eficiencia podría estar asociada a la digestibilidad de la MS de la dieta, pues se encontró que esta estrategia presentó la mayor digestibilidad, con $75,7 \pm 2,3\%$ de la MS, superior al resto de estrategias, seguida por la estrategia 4 con $73,3 \pm 1,7\%$, estrategia 2, con $71,1 \pm 2,3\%$ y con la menor digestibilidad, la estrategia 1, con $70 \pm 1,6\%$ de la MS.

En cuanto al contenido de FND en la dieta, este separó a las estrategias 1 y 2, de las estrategias 3 y 4, las primeras son las que tienen valores más altos. Este resultado podría estar asociado al alto porcentaje de pastos en estas dos dietas, mientras que en las estrategias 3 y 4, los pastos de piso tienen menor representatividad (Cuadro 2).

El estudio realizado por Sánchez *et al.* (1998), en fincas lecheras con una producción diaria promedio de leche de 10 kg/animal y una fertilización nitrogenada anual promedio de 100 a 125 kg/ha, en la zona norte de Costa Rica, reportó un valor promedio de 10,6% de PC para los pastos *Cynodon nlemfluensis*, *Brachiaria ruziziensis* e *Ischaemum indicum*. Esto es similar al promedio encontrado en la estrategia 1, de 11,2% de PC, con una predominancia de los géneros *Cynodon* (32%), *Brachiaria* (40%), e *Ischaemum* (23%). En cuanto al contenido de FND, Sánchez *et al.* (1998) reportaron un valor de 69,2%, similar al 69,4% encontrado en este estudio, con una fertilización nitrogenada promedio de 146,7 kg/ha/año.

El estudio realizado por Villalobos *et al.* (2013) en las provincias de Alajuela, Cartago y San José, en fincas lecheras con una fertilización nitrogenada anual promedio de 540 kg/ha, encontró un contenido promedio de 13,3% de PC para los pastos *Cynodon nlemfluensis*, *kikuyo* y *Lolium perenne*, resultado similar al 13,1% encontrado en este estudio para la estrategia 4, compuesta por los pastos *Brachiaria* (39%), *Cynodon* (32%), *Pennisetum clandestinum* (20%), *Ischaemum* (3%) y *Lolium* con un 2%, con una fertilización promedio de 174,6 kg/N/ha/año.

Análisis de gastos e IOFC

El IOFC no presentó diferencias estadísticas entre estrategias de alimentación, a pesar de esto, todas las estrategias se diferencian en su estructura de costos directos de alimentación, así las fincas que tienen un mayor consumo de concentrados (estrategia 4) presentaron también el mayor valor de IOFC. Este resultado es similar al reportado por Hardie *et al.* (2014) en un estudio realizado en fincas lecheras de producción orgánica en Wisconsin, USA, donde identificaron que las fincas que presentan mayor IOFC, fueron las que presentaron un mayor consumo diario de concentrados.

Un estudio realizado por Baars (1998) en fincas lecheras en Costa Rica, encontró que los gastos en alimentación de vacas en producción, representan el 31% de los ingresos por venta de leche para la zona de mayor altitud, mientras que para la zona de baja altitud, estos gastos representaron el 26,5%. Los resultados de este estudio muestran que los gastos en alimentación representan el 33, 39, 56 y 45% de los ingresos diarios por venta de leche, para las estrategias 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Los resultados encontrados por Buza *et al.* (2014) sugieren que minimizar el costo de alimentación no resulta en un mejor valor de IOFC, resultados similares se obtuvieron en este estudio con las estrategias 1 y 2. Las características de las estrategias con mejor valor de IOFC fueron mayor presencia de animales de raza Holstein (Cuadro 2), mayor consumo de concentrados (Cuadro 3) y mayor producción de leche (Cuadro 4), resultados similares a los obtenidos por Hardie *et al.* (2014).

Impactos de las estrategias de alimentación en las emisiones

En el análisis de emisiones de parciales de GEI por fincas (kg CO₂eq/LCPG), las emisiones de metano representan el 68,4, 71,2, 72,5 y 67,8% para las estrategias 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En promedio, las emisiones de metano representan una pérdida de energía correspondiente al 6,5%, similares a lo reportado por (IPCC 2006). Según Yan *et al.* (2006), las emisiones de metano se ven influenciadas por la cantidad de materia seca consumida, producción de leche y peso vivo del animal.

Un estudio realizado por Mora (2001) encontró que las fincas que presentaban mayor consumo diario de MS (13,8kg), mayor peso vivo de los animales (450kg) y mayor producción diaria de leche (20kg), presentaron también mayores emisiones de CH₄ (470gr/animal/día), en comparación con las fincas con consumos de MS de 10,8 y 11,2kg, peso vivo de 350 y 400kg y producción diaria de leche de 15 y 17kg, que presentaron emisiones diarias de metano de 388 y 463 gr/animal respectivamente. En este estudio, aunque se identificó un comportamiento en las emisiones similares, las emisiones fueron inferiores a las reportadas por Mora (2001), pero las estrategias 1, 2 y 4, presentaron valores superiores a los reportados por Montenegro y Abarca (2001); (IMN 2014), quienes reportaron valores de 249 y 232,9gr/animal/día respectivamente.

Algunos autores (Johnson y Johnson 1995; NRC 2001; Patel *et al.* 2011) sugieren que las características de la dieta, como contenido de fibra y tipo de carbohidratos, pueden influir en las emisiones de metano. En este estudio no se encontró una relación directa entre emisiones de metano y características de la dieta, pero sí se encontró una relación directa entre producción de leche y características de la dieta (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos por Van Middelaar *et al.* (2014) muestran que los rasgos genéticos como incremento en la productividad de leche tienen la capacidad de reducir emisiones, ya que las emisiones de metano por animal se diluyen en una mayor producción de leche. En este contexto, se puede observar que la estrategia 4, a pesar de presentar una mayor emisión de CH₄/animal/día, cuando estas emisiones se expresan en grCH₄/LCPG, presenta un

valor de $18 \pm 1,9 \text{kgCH}_4/\text{LCPG}$, valor distinto de la estrategias 1, pero similar a las estrategias 2 y 3 (Cuadro 4).

En el caso de las emisiones de N_2O provenientes de excretas manejadas en potreros, estas están relacionadas directamente con el tiempo que pasan los animales diariamente en los potreros, así como con el contenido de N en las excretas. El N presente en excretas varía en las estrategias, y se tienen cantidades de 200, 235,5, 250,8 y 285,4gr/N/animal/día, para las estrategias 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Bannink *et al.* (2013) mencionan que el N presente en las excretas puede variar de 200 a 550gr/animal/día.

La estrategia de alimentación influye en las emisiones de N_2O , así, en la estrategia 2, que presenta las menores emisiones, las vacas en producción pasan el menor tiempo en potreros, a pesar de que el contenido de N en la dieta es similar a las estrategias 1 y 3, pero inferior a la estrategia 4. En cuanto a las emisiones de N_2O provenientes de la fertilización sintética, se puede evidenciar que esta está influenciada por el área destinada a potreros y pastos de corte, pues las fincas que presentan mayores áreas, son también las que presentan una mayor aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Conclusiones

Las decisiones de los productores al momento de alimentar sus animales tienen impactos no solamente en la producción de leche, sino también en los costos y las emisiones de CH_4 y N_2O . Estas decisiones varían de acuerdo con la locación de las fincas lecheras, se ha encontrado una clara diferencia en las estrategias de alimentación entre fincas que se encuentran a menor altura, en comparación de las fincas a mayor altitud. Se ha encontrado que las fincas con estrategias de alimentación que incluye un mayor consumo de concentrado tienden a tener una mayor producción de leche diaria; a pesar de tener mayores emisiones de CH_4 por animal por día, la huella de carbono parcial de estas estrategias es menor.

La estrategia de alimentación influye en el nivel de producción de leche y también en el contenido de grasa y proteína, aunque todas estas características de la producción podrían verse afectadas por factores genéticos. Tanto las emisiones parciales de GEI, como el IOFC, están condicionados por el nivel de productividad de leche. A pesar de que el IOFC no presentó diferencias significativas entre las estrategias, la estructura de los costos directos de alimentación varía entre las estrategias.

Si bien los hallazgos de este estudio permiten tener un mejor entendimiento de las estrategias de alimentación en fincas lecheras, se debe considerar las limitaciones que se tuvieron, al no considerarse los costos de mano de obra, transportes y depreciación de maquinarias. En cuanto al impacto de las estrategias en las emisiones de GEI, en este estudio no se consideró las emisiones de otras categorías de animales en finca, así como las emisiones de N_2O por excretas manejadas en establos.

Bibliografía

- Amador, M.; Rodriguez, J.C.; Arroyo, A. 2010. Dinámica del rendimiento y digestibilidad del King Grass en tres frecuencias de corte. *Tierra Tropical* 6(1): 63-69.
- Baars, R. 1998. Nutrition management, nitrogen efficiency, and income over feed cost on dairy farms in Costa Rica. *Journal of dairy science* 81(3): 801-806.
- Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Casanoves, F.; Rienzo, J.D.; Robledo, C.W. 2008. *Manual del Usuario Córdoba, Argentina, Brujas*. 336 p.
- Bannink, A.; Ellis, J.L.; Mach, N.; Spek, J.W.; Dijkstra, J. 2013. Interactions between enteric methane and nitrogen excretion in dairy cows. *Advances in Animal Biosciences* 4(Supplements1): 19-27. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S2040470013000277> doi:10.1017/S2040470013000277
- Bargo, F.; Muller, L.D.; Delahoy, J.E.; Cassidy, T.W. 2002. Performance of High Producing Dairy Cows with Three Different Feeding Systems Combining Pasture and Total Mixed Rations. *Journal of dairy science* 85(11): 2948-2963. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030202743816> [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- 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>
- Costa Rica. Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones. 2009. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Calderón; Alvarado. eds. San José, Costa Rica, 109 p.
- Cottle, D.; Nolan, J.; Wiedemann, S. 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science* 51(6): 491-514.
- Chacón-Hernández, P.A.; Vargas-Rodríguez, C.F. 2010. Consumo de Pennisetum purpureum cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos. *Agronomía Mesoamericana* 21(2): 267-274.
- Chacón, A.R.; Montenegro, J.; Sasa, J. 2009. *Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. 78 p.
- Gollnow, S.; Lundie, S.; Moore, A.D.; McLaren, J.; van Buuren, N.; Stahle, P.; Christie, K.; Thylmann, D.; Rehl, T. 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia *International Dairy Journal* 37(1): 31-38. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=95621925&site=ehost-live&scope=site> 10.1016/j.idairyj.2014.02.005

- Hardie, C.A.; Wattiaux, M.; Dutreuil, M.; Gildersleeve, R.; Keuler, N.S.; Cabrera, V.E. 2014. Feeding strategies on certified organic dairy farms in Wisconsin and their effect on milk production and income over feed costs. *Journal of dairy science* 97(7): 4612-4623. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=96805829&site=ehost-live&scope=site> 10.3168/jds.2013-7763
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25(15): 1965-1978. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1276>
- Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; B.A., C.; N., H.; A., K.; K., M. 1996. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change* Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; B.A., C.; N., H.; A., K.; K., M. eds. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. 588 p.
- IDF, I.D.F. 2010. *A Common Carbon Footprint Approach for Dairy: The IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector*, International Dairy Federation.
- IMN, I.M.N., , CR. 2014. Factores de emisión gases efecto invernadero. San José, Costa Rica. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factoresemision-gei-2014_1.pdf
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. eds. Japón, IGES.
- Jiménez-Castro, J.P.; Elizondo-Salazar, J.A. 2014. Balance de Nitrógeno en fincas para la producción de leche en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 1(25): 151-160.
- Johnson, K.A.; Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle *Journal of animal science* 73(8): 2483-2492.
- MAG, M.d.A.y.G., , CR. 2013. *Concepto NAMA Fincas Ganaderas*. San José, Costa Rica, 12 p.
- Mata, L. 2011. *Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales*. Arias, L.M. ed. San José, Costa Rica, Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, CINA. 132 p.
- MIDEPLAN, M.d.P.N.y.P.E., , CR 2010. *Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014*. Teresa Obregón Zamora María San José, Costa Rica,
- Montenegro, J.; Abarca, S. 2001. *Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. San José, Costa Rica. MAG/IMN.
- Mora, C.V. 2001. *Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica*. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.

- Mora, M.A.; Figueroa, C.B. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*, The National Academies Press. Disponible en http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=9825
- Oenema, O.; Wrage, N.; Velthof, G.; Groenigen, J.W.; Dolfing, J.; Kuikman, P. 2005. Trends in Global Nitrous Oxide Emissions from Animal Production Systems Nutrient cycling in Agroecosystems 72(1): 51-65. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-004-7354-2>
- Ortiz, M.E. 2009. Atlas digital de Costa Rica 2008. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica 1 CD-Rom. (CD-Rom).
- Patel, M.; Wredle, E.; Börjesson, G.; Danielsson, R.; Iwaasa, A.D.; Spörndly, E.; Bertilsson, J. 2011. Enteric methane emissions from dairy cows fed different proportions of highly digestible grass silage. *Acta Agriculturae Scandinavica: Section A, Animal Science* 61(3): 128-136. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=67188129&site=ehost-live&scope=site> 10.1080/09064702.2011.616216
- Sánchez, J.M.; Piedra, L.; Soto, H. 1998. Calidad nutricional de los forrajes en zonas con niveles bajos de producción de leche, en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 22(1): 69-76.
- Sánchez, J.M.; Soto, H. 1999a. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche en el trópico húmedo del norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(2): 165-171.
- _____. 1999b. Niveles de energía estimada en los forrajes de un distrito de mediana producción lechera, Fortuna de San Carlos, en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(2): 179-185.
- Sánchez, J.M.; Soto, H. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. *Revista Nutrición Animal Tropical (Costa Rica)* 3(1): 3-18.
- Scott, R. 1986. *Cheesemaking practice*. Cheesemaking practice. (Ed. 2).
- Schils, R.L.M.; Eriksen, J.; Ledgard, S.F.; Vellinga, T.V.; Kuikman, P.J.; Luo, J.; Petersen, S.O.; Velthof, G.L. 2013. Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from herbivore production systems animal 7(Supplements1): 29-40. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S175173111100187X> doi:10.1017/S175173111100187X
- Sehested, J.; Kristensen, T.; Sørengaard, K. 2003. Effect of concentrate supplementation level on production, health and efficiency in an organic dairy herd *Livestock Production Science* 80(1-2): 153-165. Disponible en

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622602003172>
[http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00317-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00317-2)

- Soto, C.; Valencia, A.; Galvis, R.D.; Correa, H.J. 2005. Effects of the cutting age and the level of nitrogen fertilization over the energetic and proteic value of the grass 'Kikuyo'(Pennisetum clandestinum). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(1): 17-26.
- Van Horn, H.; Wilkie, A.; Powers, W.; Nordstedt, R. 1994. Components of dairy manure management systems. *Journal of dairy science* 77(7): 2008-2030.
- Van Middelaar, C.E.; Berentsen, P.B.M.; Dijkstra, J.; van Arendonk, J.A.M.; de Boer, I.J.M. 2014. Methods to determine the relative value of genetic traits in dairy cows to reduce greenhouse gas emissions along the chain. *Journal of dairy science* 97(8): 5191-5205. Consultado 2014/09/17. Disponible en [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00378-6/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00378-6/abstract) 10.3168/jds.2013-7413
- Villalobos, L.; Sánchez, J.M. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense* 34(1): 43-52.
- Villalobos, L.; Arce, J.; WingChing, R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 37(2): 91-103.
- Villarreal, M. 1992. Evaluación comparativa de ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. *Agronomía Costarricense* 16(1): 37-44.
- 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.
- Wolf, C.A. 2010. Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. *Journal of dairy science* 93(10): 4942-4948. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005254> <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2998>
- Yan, T.; Mayne, C.S.; Porter, M.G. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. *International Congress Series* 1293(0): 123-126. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513106001579> <http://dx.doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.024>

CAPÍTULO III

Emisiones parciales de gases efecto invernadero en hatos lecheros de Costa Rica, identificación de variables explicativas de emisiones

Resumen

La ganadería es el sector de mayores emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en Costa Rica, el metano y óxido nitroso son los GEI de mayor importancia. Con el compromiso de volverse país carbono neutral, Costa Rica está impulsando acciones apropiadamente nacionales de mitigación (NAMAs), con énfasis en el sector ganadero. El objetivo de este estudio fue identificar la agrupación natural de fincas por sus niveles de emisiones parciales y las variables de mayor importancia y su relación en los niveles de emisiones. La población de estudio fueron 104 fincas asociadas a la cooperativa Dos Pinos; mediante encuestas se recolectó información referente a características de manejo, alimentación, fertilización de pastos y producción. Las variables de ubicación geográfica y características de la leche, fueron proporcionadas por Dos Pinos. Se identificaron tres grupos de fincas de acuerdo con su nivel de emisión con 0,47, 0,61 y 0,87 kg CO₂eq/LCGP (dióxido de carbono equivalente/Leche Corregida a su contenido de Proteína y Grasa), y se encontró que las diferencias no solo se dan en el nivel de emisiones, sino también en el peso relativo de las distintas fuentes en el total de emisiones. Mediante técnicas de análisis multivariado se identificaron 11 variables (de tipo manejo, características geográficas de fincas, características de producción) que explican el 89% de las emisiones parciales de GEI, además permiten conocer la relación de estas variables con los niveles de emisión identificados. El conocimiento de los niveles de emisiones, su composición y las variables de mayor importancia en estas emisiones, permitirá tomar decisiones mejor informadas con respecto a las estrategias de mitigación en el sector lechero en Costa Rica.

Palabras claves: Ganadería de leche en trópicos, emisiones, metano, óxido nitroso, vacas en producción.

Abstract

In Costa Rica, the livestock sector is the biggest contributor to the national greenhouse gas (GHG) emissions, with methane and nitrous oxide as the two most important gases. With the national goal to become a carbon neutral country, the government is promoting the development of the National Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the livestock sector. The aim of this study was to classify farms for GHG emissions levels, and to identify and select the variables that have a strong influence in GHG emissions, and their relationship with the GHG farm groups. The study was carried out with 104 dairy farms from Dos Pinos cooperative, the information about feeding practices, fertilization practices, management practices, and production was collected through survey and from Dos Pinos cost database. The analysis

identified three groups with different partial emissions levels of 0,47, 0,61 and 0,87 kgCO₂e/FPCM (kg carbon dioxide equivalent/Fat Protein Corrected Milk). In addition, there were differences among groups in emission levels, but also in the composition of GHGs proportion. Using multivariate statistical analysis, 11 variables were identified (management, geographic location, production characteristics) to explain 89% of the calculated partial GHG emissions in dairy farms. Information about emission levels, proportion of GHG emissions in farms and the knowledge of the contribution of each variable to emission could help the Costa Rica government to have a better understanding of the complexity of the GHG emissions, in order to explore and develop mitigation options for the dairy sector.

Key words: Tropical dairy farms, GHG emissions, methane, nitrous oxide, lactating cows

Introducción

El último reporte del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que las actividades humanas son responsables de al menos la mitad del incremento de la temperatura media global desde 1951 al 2010, las cuales han sido causadas por el incremento de gases efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas (IPCC 2013). En este sentido, Caro *et al.* (2014) manifiestan que el sector ganadero contribuye con el 57% del total de emisiones relacionadas al sector agrícola, mientras que el sector lechero contribuye con el 4% del total de las emisiones antropogénicas de GEI (FAO 2010). De estas emisiones destacan el metano y óxido nitroso, con 72% y 28%, respectivamente, del total de emisiones calculadas a un horizonte de 100 años (Caro *et al.* 2014).

Ante el cambio climático y sus efectos, Costa Rica lo ha considerado como un tema de acción prioritario, para lo que se ha planteado ser un país carbono neutral para el año 2021 (MINAET 2009), mediante esfuerzos de reducción de emisiones y el incremento de la capacidad de remoción de carbono del país. El sector agropecuario es uno de los ejes de mitigación del cambio climático. La estrategia competitiva para lograr la carbono neutralidad del país, contempla a la huella de carbono como una medida mediante la cual diversos sectores puedan establecer sus inventarios de gases (MINAET 2009). Se entiende que un producto o servicio puede tener una huella de carbono cero cuando el impacto de las emisiones en el clima es cero (MINAET 2009).

La huella de carbono se define como una medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que están directa e indirectamente causadas por una actividad, o que se acumulan a lo largo de las etapas de vida de un producto (Wiedmann y Minx 2008). En el caso del sector lechero, la Federación Internacional Lechera (IDF, por sus siglas en inglés) define a la huella de carbono como la suma de los gases de efecto invernadero emitidos a través del ciclo de vida de un producto, con unos límites del sistema, en específica aplicación o en relación con una cantidad definida de un producto específico (IDF 2010).

Una de los mecanismos para lograr la carbono neutralidad ha sido el desarrollo de las Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés). Mediante la aplicación de las NAMA ganadería, Costa Rica pretende alcanzar un potencial de mitigación

de 12,93 millones de toneladas de CO₂eq en los próximos 15 años, a través del 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).

En Costa Rica, las emisiones de metano por fermentación entérica representan el 15%, mientras que las emisiones de óxido nitroso representan el 18% del total de emisiones nacionales expresadas en CO₂eq (Chacón et al. 2009). Considerando que el sector lechero representa el 21% de la ganadería en Costa Rica (MAG 2013), se hacen necesarios los esfuerzos por identificar las prácticas de manejo, alimentación y las condiciones medioambientales, que están influyendo en la huella de carbono de las fincas lecheras de Costa Rica.

En este contexto, el objetivo de este artículo fue el de identificar las características biofísicas de las fincas y las prácticas de manejo que tienen mayor influencia en las emisiones parciales de GEI en fincas, y cómo la identificación de estas puede mejorar el entendimiento de la situación actual de la ganadería de Costa Rica con respecto a las emisiones e identificar estrategias adecuadas de mitigación.

Materiales y métodos

Población de estudio

Este estudio se realizó en fincas de productores asociados a la cooperativa Dos Pinos, en Costa Rica, la cual agrupa a 1420 socios, de los cuales, aproximadamente el 81% corresponde a lechería especializada y el 19% a sistemas doble propósito (producción de leche y carne). Se consideró solamente a las fincas de lechería especializada y que contaban con información completa de ingresos y egresos de la actividad ganadera correspondiente al año 2013. La predisposición de los productores para participar en la encuesta estructurada fue indispensable en este estudio, con base en estos criterios, este estudio se realizó con 104 fincas.

Recolección de datos y descripción de las variables

La información correspondiente a ingresos y egresos se obtuvo mediante los programas Sical Web, Sical Excel, Infodairy y Herdboss. Esta información fue proporcionada por Dos Pinos, al igual que las coordenadas espaciales, información de áreas de manejo, producción de leche al día y contenido de proteína y grasa en la leche. El contenido de proteína y grasa en la leche Dos Pinos lo obtiene a partir del muestreo permanente de la leche producida en cada finca, esto permite mantener un eficiente control de calidad en sus productos.

La información referente a variables de ubicación espacial, altitud y piso climático, se obtuvieron mediante la utilización del software ArcMap, al interpolar las coordenadas espaciales de las fincas, en los mapas digitales que constan en el Atlas Digital de Costa Rica (Ortiz 2009). Las variables precipitación y temperatura se obtuvieron de la base de datos de World Clim 2014, de allí se obtuvieron datos promedio de precipitación mensual y datos promedio de temperatura diaria de los últimos 50 años (Hijmans et al. 2005).

En los primeros meses de 2014, se realizó una encuesta estructurada, con el fin de registrar información referente a: categorías de manejo de animales en el hato, composición racial del hato en porcentaje, peso vivo promedio (PV), cantidad de animales por categoría, características de la alimentación diaria por categoría de animales (tipo de alimentos, cantidad diaria en la ración), características del manejo de los animales (horas/día en establo y en potrero), manejo del estiércol, manejo de la fertilización, especies de pastos de corte y especies de pasto de piso.

Aunque la información se recolectó para todas las categorías de animales, este estudio se realizó únicamente considerando las vacas en producción presentes en el hato.

Características de la alimentación de vacas en producción

Los requerimientos diarios de materia seca (MS) por animal se estimaron utilizando la metodología propuesta por NRC (2001), mediante la ecuación 1, descrita en el Cuadro 1. Con el fin de obtener estimaciones de consumo de MS más cercanas a la realidad, se incluyeron factores de energía necesaria para caminar diariamente al ordeño (ecuación 4), caminar en potreros (ecuación 6), energía para consumir pasto en potreros (ecuación 5) y energía requerida para mantener la preñez (ecuación 7), ajustadas al manejo de los productores, tal como se puede ver en el Cuadro 1. Estos requerimientos adicionales de energía se incluyeron en la ecuación de predicción de consumo de MS, expresándolas como leche adicional corregida a su contenido de grasa. El peso vivo de los animales fue calculado en función de la representatividad de las razas en el hato, por el peso reportado para cada raza según información del productor.

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas en cálculos de requerimientos de energía

Descripción	Ecuación	Unidades	Fuente
Ecuación 1: Predicción de consumo de MS en vacas en producción	$CMS = 0,32 * (LCG + LCGEnadic) + 0,0968 * Peso Vivo^{0,75}$	KgMS/día	(NRC 2001)
Ecuación 2: Leche corregida a contenido de grasa	$LCG = 0,4 * Prod\ diaria\ leche + (15 * Prod\ diaria\ de\ leche * \%grasa\ en\ leche)/100)$	Kg/día	(NRC 2001) Fórmula Gaines
Ecuación 3: Leche adicional por energías calculadas	$Lad = \frac{ECO + EPAS + ECP + EPRE}{EnergíaLeche}$	Kg/día	
Ecuación 4: Energía para caminar diariamente al ordeño	$ECO = Peso\ Vivo * 0,00045 * 1km$	Mcal/día	(NRC 2001)
Ecuación 5: Energía para pastoreo: 0.002 si pastoreo; 0.001 si semi-estabulado	$EPAS = \left(\frac{0,002}{Peso} Vivo^{0,75}\right)$	Mcal/día	(NRC 2001)
Ecuación 6: Energía para caminar en pasturas	$ECP = Peso\ Vivo * \%horas\ pasturas * 0,006$	Mcal/día	(NRC 2001)
Ecuación 7: Energía para preñez	$EPRE = (Energía\ mantenimiento * 0,08) * \left(\frac{Tasa\ producción}{100}\right)$	Mcal/día	(IPCC 2006)

Los alimentos utilizados por los productores se clasificaron en categorías; un estudio realizado por Buza et al. (2014) clasificó los alimentos utilizados en la ración diaria en categorías. Las categorías son: aditivos, concentrados, forraje ofrecido al animal, subproductos y pastos de piso. En la categoría aditivos, se consideraron los suplementos ofrecidos al animal, como sales minerales, grasas y levaduras. En la categoría concentrados, se incluyen los alimentos fabricados para suplir los requerimientos de proteína y de energía del animal y poseen un alto (más de 80%) porcentaje de materia seca (MS). Las características químicas de los concentrados se obtuvieron de la información proporcionada por los fabricantes. A nivel general, esta categoría tiene valores promedio de proteína cruda (**PC**) de 18,1±10,10% de la MS, fibra neutro detergente (**FND**) 15,7 ±8,8% de la MS y digestibilidad *in vitro* de la MS (**DIVMS**) de 85% (**Anexo 6**).

En la categoría forrajes ofrecidos, se encuentran los ensilajes, henos comprados, y pastos de corte cultivados en la finca, que se ofrecen en fresco a los animales durante el período de permanencia en el establo. La categoría subproductos incluye aquellos alimentos resultantes de procesos agroindustriales que se utilizan para la alimentación animal, como son: cáscara de piña, cáscara de banano, banano, cáscara de yuca, cascarilla de soya, etc. La categoría pastos de piso incluye todas las especies de pasto que el animal consume ad libitum.

Para estimar la MS consumida por pastos de piso, se siguió la metodología propuesta por Hardie *et al.* (2014), en la que la diferencia entre la cantidad de MS predicha por NRC y la ofrecida por el productor se asume como la cantidad proveniente de pastos. Esta cantidad se distribuyó proporcionalmente a los géneros de pastos existentes en la finca.

En este estudio, se contabilizaron 23 especies de pastos, y se encuentra desde una especie, hasta siete especies de pastos por finca (anexo 2). Frente a esta variabilidad, se tomó la decisión de agrupar las especies de pastos por género, se tienen así los géneros Axonopus, Brachiaria, Cynodon, Digitaria, Festuca, Hermarthria, Ischaemum, Lolium, Panicum, Pennisetum y Setaria en el presente estudio. A cada género de pastos se le asignó un valor porcentual de representatividad, este valor se dio en función de las áreas reportadas para cada pasto por el productor en la encuesta. El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), se consideró de forma independiente del resto de pastos pertenecientes al género Pennisetum, esto debido a la diferencia en las características bromatológicas con el resto de especies de este género.

Las características químicas de la dieta se obtuvieron al calcular el aporte de PC, FND, EE y DIVMS de cada uno de los alimentos consumidos por el animal. Para todos los alimentos se obtuvo información de contenido de MS, PC, FND, EE y DIVMS. Las características de los concentrados se obtuvieron de la información proporcionada por las empresas que los elaboran, mientras que la información de subproductos y pastos se obtuvo de una revisión bibliográfica de estudios realizados en Costa Rica por el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal-CINA, de la Universidad de Costa Rica (Mata 2011). Las características de los pastos se obtuvieron de una revisión bibliográfica de varios estudios realizados en Costa Rica durante los años 1992-2013 (Villarreal 1992; Sánchez y Soto 1996; Sánchez *et al.* 1998; Sánchez y Soto 1999a; Sánchez y Soto 1999b; Mora y Figueroa 2005; Soto *et al.* 2005; Amador *et al.* 2010; Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez 2010; Villalobos y Sánchez 2010; Villalobos *et al.* 2013).

Para la estimación del consumo diario de MS, se utilizó la metodología propuesta por NRC (2001), en la cual se predice el consumo diario de MS en función del peso vivo, de la producción de leche, % de grasa en leche y actividades relacionadas al manejo de los animales. Con el fin de obtener estimaciones de consumo de MS que reflejen de mejor manera el manejo de los productores, se incluyeron factores de energía necesaria para caminar diariamente al ordeño, caminar en potreros, energía para consumir pasto en potreros y energía requerida para mantener la preñez (NRC 2001). El peso vivo de los animales fue calculado en función de la representatividad de las razas en el hato, por el peso reportado para cada raza por el productor.

En este estudio se calculó también la eficiencia en el uso de los alimentos por parte de las vacas en producción, esto se realizó dividiendo la cantidad de leche producida por día, entre el total de MS consumida diariamente. Este índice de eficiencia permite conocer la relación entre consumo de alimento y producción de leche. El cálculo de eficiencia se realizó también para el N ingerido, donde se dividió el N presente en la leche, para la cantidad total ingerida.

Emisiones de metano

El cálculo de emisiones de metano (CH_4) por fermentación entérica se realizó utilizando la metodología propuesta por IPCC (2006), Volumen 4, capítulo 10: Emisiones de ganadería y manejo de excretas. Esta calcula las emisiones en función de los requerimientos de energía y digestibilidad de la ración, lo que da como resultado la cantidad de energía bruta consumida diariamente. Como se ha descrito anteriormente, los valores de requerimientos de energía neta se calcularon utilizando las ecuaciones propuestas por NRC (2001). Para el cálculo de energía requerida para caminar diariamente al ordeño, se asumió como distancia promedio 500m de recorrido de potreros a establo, por dos ordeños diarios (ver Cuadro 1, Ecuación 4). El tipo de manejo de los animales (estabulado, semi-estabulado, pastoreo) se consideró para calcular la energía requerida para ingesta de pastos en potreros, de esta manera, se utiliza la mitad del valor recomendado por NRC (2001) para animales en manejo semi-estabulado, mientras que para animales en pastoreo se utilizó el valor total recomendado de 0,002Mcal, tal como se puede ver en el Cuadro 1, Ecuación 5.

Emisiones de óxido nitroso

Las emisiones de N_2O en fincas provienen de dos fuentes, una orgánica y otra sintética. La fuente orgánica proviene del estiércol depositado en pasturas, mientras que las emisiones por fuentes sintéticas provienen de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en suelos.

Para las emisiones por fuentes orgánicas, se consideró solamente las excretas, durante el tiempo que las vacas permanecen en potreros, obviándose en este estudio las excretas manejadas en el establo, por carecer de información fiable. Las emisiones provenientes de estas excretas se calcularon utilizando la metodología propuesta por IPCC (2006), donde se indica que el 2% del Nitrógeno de las excretas depositadas en los potreros, se emiten en forma de N_2O . La métrica propuesta por IPCC exige convertir las emisiones en $\text{N}_2\text{O-N}$ en N_2O , multiplicando las emisiones por 1.57 (44/28).

Esta metodología propuesta considera el contenido de N presente en las excretas, el mismo que se obtuvo siguiendo la metodología de balance del nitrógeno en los animales, propuesta por Van Horn et al. (1994), donde se asume que el contenido de N en las excretas es igual a la diferencia entre el N ingerido en la ración menos el exportado diariamente en leche. El N ingerido en la dieta fue calculado asumiendo que es el valor resultante de dividir %PC entre 6,25 NRC (2001), mientras que el N exportado en la leche fue calculado a partir del contenido de PC en leche, dividido entre 6,38 (Scott 1986). El valor de PC en leche fue obtenido de la base de datos de Dos Pinos.

Las emisiones de N_2O provenientes de fuentes sintéticas se obtuvieron a partir de la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados aplicados en la finca anualmente. Los datos fueron obtenidos en la encuesta realizada, esta consultó la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados por hectárea y por mes en dos usos de suelo: en pastos de corte y potreros. IPCC (2006) estima que las emisiones de $\text{N}_2\text{O-N}$ corresponden al 1% del N aplicado

en forma de fertilizantes sintéticos. Estas emisiones se estandarizaron a N₂O, de la misma manera que se realizó en las emisiones por fuentes orgánicas.

Emisión Parcial de CO₂eq por kilo de leche

Las emisiones de CH₄ y N₂O se estandarizaron a su potencial de calentamiento atmosférico, expresado en emisiones de CO₂ para un período de 100 años. El potencial de calentamiento atmosférico se entiende como la relación entre el forzamiento radiativo de un kilogramo de gas de efecto invernadero emitido a la atmósfera y el de un kilogramo de CO₂, en un período de tiempo determinado IPCC (2006). De esta manera, se tiene que el CH₄ tiene un potencial de calentamiento de 21, mientras que para el N₂O el potencial de calentamiento es de 310 en comparación con el CO₂. Estos valores son los aceptados por el Instituto Meteorológico Nacional, responsable del inventario de emisiones de Costa Rica (Houghton et al. 1996; IMN 2014).

En este estudio se denomina emisiones parciales de GEI a las emisiones calculadas de CH₄ y N₂O, expresadas en gramo de CO₂ equivalente por kilogramo de leche corregida por proteína y grasa (CO₂eq/LCPG).

Los datos de contenido de proteína y grasa en leche muestran una alta heterogeneidad, la misma que está asociada a las características productivas de las razas lecheras, así como por las características de la alimentación. Para obtener mediciones que puedan ser comparables entre sí, se estandarizó la producción de leche a su contenido de proteína y grasa (LCPG); esto se realizó mediante la ecuación propuesta por la Federación Internacional Lechera (IDF, por sus siglas en inglés), donde:

$$\text{LCPG (kg/día)} = \text{Producción diaria de leche} * (0,1226 * \text{grasa en leche} + 0,0776 * \text{proteína en leche} + 0,2534)$$
 (IDF 2010).

Análisis Estadístico

Identificación de fincas por categoría de emisiones

Los datos del estudio fueron analizados por el software estadístico INFOSTAT. Para identificar las fincas de acuerdo con sus emisiones parciales de GEI, se realizó un análisis de conglomerado, en el cual se utilizó las emisiones de CH₄ y N₂O, expresadas en CO₂eq/LCPG. El análisis de conglomerados es un método de agrupación multivariado, el cual se utiliza para identificar la asociación natural de las observaciones (Balzarini *et al.* 2008). En este estudio, se utilizó el método de agrupamiento jerárquico de Ward. Este método fue escogido porque minimiza la pérdida de información en cada unión de conglomerados forma grupos homogéneos, mientras que para la medición de distancias, se utilizó la medida de distancia Euclídea, por ser el recomendado para tipo de datos cuantitativos (Balzarini *et al.* 2008), para esto se estandarizaron las variables. Para este análisis se utilizó el criterio de corte o diferenciación de conglomerados al 50% del total de la distancia, de lo que se obtuvieron tres conglomerados.

Para establecer las diferencias entre los conglomerados, se aplicó un análisis de la varianza no paramétrica, con la prueba de Kruskal-Wallis. Este análisis de la varianza no paramétrica permite comparar la esperanza de dos o más distribuciones, sin la necesidad de comprobar que el supuesto de distribución normal de los términos de error (Balzarini *et al.* 2008).

Identificación y determinación de variables explicativas (ambientales y de manejo) asociadas a la emisiones parciales de GEI

Utilizando técnicas de análisis multivariado se identificó y seleccionó las variables que presentan mayor asociación con la emisiones parciales, y que de esta manera podrían ser utilizadas para predecir el valor de emisiones parciales de GEI para fincas lecheras de Dos Pinos. Esta identificación se realizó en tres etapas:

Primera etapa: Mediante un análisis de la varianza no paramétrica Kruskal-Wallis, se identificó las variables que presentan diferencias significativas entre los conglomerados, se utilizaron los grupos como factor de interés de clasificación, y las variables como dependientes. En este análisis se ingresaron variables de manejo, biofísicas (altura, temperatura, precipitación), requerimientos energéticos, características de dieta, producción y características de los animales.

Segunda etapa: Una vez identificadas las variables que presentan diferencias significativas entre grupos, se realizó un análisis de conglomerado para evaluar el grado de correlación que presentan entre sí las variables explicativas; esto con el fin de reducir o eliminar variables redundantes en la información. Se utilizó el método de encadenamiento promedio, y la distancia de correlación de Spearman, el criterio de corte para decidir qué variables son redundantes fue del 25% de la distancia. Otro de los criterios de selección de variables en esta etapa fue de seleccionar aquellas cuya obtención no presente mayores dificultades y puedan ser recolectadas mediante encuestas a productores en campo.

Tercera etapa: Con las variables seleccionadas en el análisis de conglomerados se realizó un análisis discriminante, con el fin de crear una función como herramienta para predecir el nivel de emisiones parciales de GEI en fincas. Según Balzarini *et al.* (2008), el análisis discriminante es una técnica que puede utilizarse con dos propósitos: 1) predecir la clasificación de una observación en una población existente, de acuerdo con las características medidas, se le asigna un grupo al que tiene mayor probabilidad de pertenecer y 2) puede ser utilizado para identificar el subconjunto de variables que mejor explican la variabilidad entre grupos. La función resultante de este modelo se validó con 1000 permutaciones, utilizando 30 observaciones.

Resultado y Discusión

Las 104 fincas estudiadas están ubicadas en las provincias de Alajuela, Cartago, Guanacaste, Heredia y San José, en altitudes desde los 100 hasta los 2400msnm y en los pisos

climáticos Basal, Montano bajo y Premontano, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (Ortiz 2009).

Clasificación de fincas por sus emisiones parciales de GEI

El análisis de conglomerados permitió identificar 3 tipologías de fincas, de acuerdo con el nivel de emisiones de CH₄ y N₂O expresadas como CO₂eq/LCGP, las cuales presentan diferencias significativas entre sí (Cuadro 2). Tanto la variable CH₄ como N₂O presentaron diferencias entre conglomerados y tendencias similares de agrupación, es decir, el conglomerado que presentó el valor más bajo para CH₄ (conglomerado A) presentó también el valor más bajo para N₂O. En el otro extremo, el conglomerado C, que presentó el valor más alto de CH₄, presentó también el valor más alto de N₂O.

Cuadro 2. Emisiones de metano, óxido nitroso y emisión parciales

Variable	Conglomerado			P
	A	B	C	
Fincas (n)	33	58	13	---
CH ₄	0,35 ^C (0,02)	0,42 ^B (0,04)	0,53 ^A (0,09)	<0,001
N ₂ O	0,12 ^C (0,04)	0,19 ^B (0,05)	0,34 ^A (0,15)	<0,001

A, B: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten mismas letras son diferentes (P<0.5)

Descripción de los conglomerados

El conglomerado A agrupa 33 fincas, cuenta con la mayor cantidad de vacas en producción (68,1±51,2), con predominancia de las razas Holstein y Jersey (41% y 39%). Su alimentación se caracteriza por el gran aporte de alimentos diferentes a pastos de piso en la dieta diaria, lo cual contribuyó 45% del total de MS consumida. Este conglomerado presenta el menor nivel de emisiones parciales de GEI. El conglomerado B está formado por 58 fincas, presenta la menor área promedio destinada a vacas en producción, con 17,2±9,9ha. Las razas mestizas (animales provenientes de cruces de varias razas, que no presentan características fenotípicas de una raza en particular) y Holstein tienen la misma representatividad en el hato (26%) y la raza dominante es la Jersey con 39%. Los pastos de piso representan el 53% del total de MS ingerida diariamente por vacas en producción, su emisiones parciales de GEI presentan valores intermedios entre los otros dos conglomerados. El conglomerado C agrupa 13 fincas, presenta la menor cantidad de vacas en producción (44,8±19,3 vacas) a pesar de que presenta la mayor área destinada a vacas en producción (28,1±19,8ha); la dieta de estos animales está conformada en un 65% por pastos de piso y presenta la emisiones parciales de GEI más alta de los tres conglomerados.

Características generales de los conglomerados

El área destinada a vacas en producción, y la composición racial del hato, tampoco presentaron diferencias significativas entre conglomerados, aunque el conglomerado A presenta mayor porcentaje de razas especializadas (Cuadro 3). La cantidad de vacas en producción no presentó diferencias significativas entre conglomerados, a pesar de esto, el conglomerado A con 68,1±51,2 vacas presenta la mayor cantidad de vacas en producción (Cuadro 3). En cuanto al consumo de MS, este diferenció a todos los conglomerados, pues se

encontró que el conglomerado A presenta el consumo diario de MS más alto ($17,81 \pm$ de MS), superior en 15 y 28% a los conglomerados B y C respectivamente (Cuadro 3).

La composición de la dieta también varió entre conglomerados, así por ejemplo, los alimentos suministrados a los animales (concentrados, subproductos y forrajes ofrecidos) representan más del 50% de la MS ingerida en el conglomerado A, mientras que en el resto de conglomerados, la mayor cantidad de MS fue aportada por los pastos de piso. Los alimentos concentrados y pastos de piso presentaron diferencias significativas entre los conglomerados. De esta manera, el mayor consumo de concentrados se registró en el conglomerado A, seguido del conglomerado B y C, mientras que en el caso de los pastos de piso, este presentó el mayor porcentaje en el conglomerado C, seguido de los conglomerados B y A. Aunque los subproductos y forrajes ofrecidos no presentaron diferencias significativas entre los conglomerados, el conglomerado A presentó el consumo más alto de estos dos tipos de alimentos, seguido de B y C (Cuadro 3).

En cuanto a la producción anual de leche, el conglomerado A presenta una producción ampliamente mayor, en comparación con los conglomerados B y C (Cuadro 3). Estas diferencias podrían estar explicadas por la mayor cantidad de vacas en producción, mayor presencia de razas especializadas en la producción de leche y mayor consumo de concentrados en la dieta diaria. Se obtienen resultados similares a los obtenidos por Sehested *et al.* (2003), quienes encontraron que dietas con mayor uso de concentrados tenían como resultado mayor producción de leche.

Cuadro 3. Características generales de los conglomerados

Variable	Conglomerado			
	A	B	C	P
Área vacas en producción (ha)	19,8($\pm 15,5$) ¹	17,2($\pm 9,9$)	28,1($\pm 19,8$)	NS
Vacas en producción (n)	68,1($\pm 51,2$)	51,5($\pm 24,9$)	44,8($\pm 19,3$)	NS
Holstein %	41,1($\pm 42,5$)	25,7($\pm 33,2$)	26,2($\pm 42,7$)	NS
Chumeca %	19,2($\pm 34,5$)	25,8($\pm 31,6$)	32,3($\pm 40,2$)	NS
Jersey %	38,5($\pm 40,3$)	39,7($\pm 33,8$)	41,5($\pm 43,8$)	NS
MS ingerida (kg/día)	17,81 ^A ($\pm 2,6$)	15,46 ^B ($\pm 2,08$)	13,92 ^C ($\pm 1,64$)	<0,001
Concentrados (% MS)	33 ^A ($\pm 10,7$)	29 ^B (± 10)	23,2 ^C ($\pm 10,2$)	<0,1
Subproductos (% MS)	12($\pm 14,8$)	8($\pm 13,1$)	3,7($\pm 5,16$)	NS
Forraje Ofrecido (% MS)	9,6($\pm 11,0$)	9,5($\pm 12,1$)	7,8($\pm 9,1$)	NS
Pastos de Piso (% MS)	45,2 ^C ($\pm 19,7$)	53,4 ^B (± 18)	65,4 ^A ($\pm 12,2$)	<0,01
LCGP ¹ (tonelada /año/finca)	481 ^A (± 377)	256 ^B (± 160)	165 ^B (± 109)	<0,001

¹ Desviación Estándar

^{A, B:} Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

Emisiones parciales de GEI

Se calcularon las emisiones de CH₄ por fermentación entérica y el N₂O resultante de: (a) excretas depositadas en pasturas, (b) fertilización sintética de pastos de piso y (c) fertilización sintética de pastos de corte; todas estas emisiones relacionadas a vacas en producción. Las emisiones parciales de GEI diferenciaron a las fincas como de bajas, medias y altas emisiones,

con $0,47 \pm 0,01$, $0,61 \pm 0,01$ y $0,87 \pm 0,02$ kgCO₂eq/LCGP, para los conglomerados A, B y C respectivamente (Cuadro 4). Los grupos de fincas identificados se diferencian también en la importancia que cada fuente de emisiones de GEI tiene en el total (expresado como CO₂eq/LCGP). Esto a pesar de que en todos los grupos el metano es el GEI de mayor importancia, pues representa casi el 75% del total de emisiones en el conglomerado A, y menos del 70% en los conglomerados B y C (Cuadro 4). Lo anterior coincide con lo reportado por varios autores, quienes afirman que el CH₄ representa más del 50% de la huella de carbono en fincas lecheras (Gerber *et al.* 2010; Gollnow *et al.* 2014). En el caso del grupo A, una mayor proporción de CH₄ en las emisiones calculadas, puede deberse a menor aporte de N₂O por excretas, como consecuencia de menor cantidad de horas en pasturas por los animales (Cuadro 4), y menor cantidad de fertilizantes aplicados por ha en pastos de piso ($138,4 \pm 28,3$ kg N/ha; promedio \pm desviación estándar) y pastos de corte ($87,6$ kg \pm $33,1$ kg N/ha).

En contraste, en el grupo C, el N₂O proveniente de la fertilización de pastos tiene mayor importancia, con un $16,5 \pm 16,2\%$, a diferencia de los otros conglomerados, donde no alcanza el 10% de las emisiones. Esto puede deberse a sus prácticas de fertilización de pastos de piso ($225,3 \pm 45$ kg N/ha), pastos de corte ($127,8 \pm 52,6$ kg N/ha) y a su mayor área destinada a vacas en producción (Cuadro 3), mientras que el N₂O proveniente de excretas presenta un 1% más de importancia en este grupo.

El grupo B se presenta como una transición entre A y C. Aunque su carga animal es similar al grupo A (Cuadro 3), el N aplicado anualmente en pastos de piso ($185,7 \pm 21,3$ kg N/ha) es superior al grupo A, pero inferior a C, pero la aplicación de N en pastos de corte ($78 \pm 24,9$ kg N/ha) es inferior al resto de grupos. Este grupo presenta además una mayor representatividad del N₂O proveniente de excretas en pasturas, debido al mayor tiempo que pasan los animales en pasturas (Cuadro 4).

A nivel de finca, aunque el conglomerado A presentó las mayores emisiones anuales de GEI en fincas expresadas en CO₂eq, estas no presentaron diferencias significativas entre conglomerados. De la misma manera, las emisiones anuales de CH₄, N₂O por excretas y fertilización de pastos, expresadas como toneladas de CO₂eq, no presentaron diferencias significativas entre conglomerados.

El Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica en su publicación sobre factores de emisión de GEI establece una emisión diaria promedio de 233 gr CH₄ animal/día para vacas productoras de leche (IMN 2014), valor superior al registrado para el conglomerado C, con 232,2 gr, pero inferior a los conglomerados A y B con 311,8 y 261gr CH₄/animal/día. Sin embargo, estos valores son inferiores a los reportados por Mora (2001), quien para fincas con bajos, medios y altos niveles de insumos reportó emisiones diarias de 388, 463 y 470gr de CH₄ por vaca lactante respectivamente. El IPCC para inventarios de emisiones a Nivel 1, ha propuesto un factor de emisión de 63kg CH₄/vaca/año (172gr/vaca/día) para ganado lechero con características de manejo de América Latina, con alta dependencia de pastoreo y una pequeña parte de la alimentación con granos (IPCC 2006).

Las emisiones de N₂O expresadas en tonN₂O/año, provenientes de fertilización sintética de pastos de piso, muestra que el conglomerado C es superior en más del 200% a los otros conglomerados, influido principalmente por su estrategia de fertilización. A pesar de la alta

aplicación de N en pasturas ($225,3 \pm 45$ kg N/ha), este valor es inferior a los 540 kg N/ha reportado por Villalobos *et al.* (2013), pero superior a los valores registrados por Sánchez *et al.* (1998) con 100 a 125 kg N/ha en la zona norte de Costa Rica. En cuanto a las N_2O provenientes de fertilización de pastos de corte, este, al igual que el N_2O resultante de las excretas depositadas en pasturas, no presentó diferencias significativas entre conglomerados, aunque se puede ver que el conglomerado A presenta los valores más altos en las dos fuentes de emisiones (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Emisiones de GEI al nivel de la finca, de las vacas y de los pastos

Variable	Conglomerado			P
	A	B	C	
Emisiones parciales (kgCO ₂ eq/LCGP)	0,47 ^C (±0,01) ¹	0,61 ^B (±0,01)	0,87 ^A (±0,02)	<0,001
Porcentaje				
CH ₄	73,9 ^A (±5,9)	68,6 ^B (±5,7)	62,1 ^B (±13,4)	<0,001
N ₂ O Fertilización sintética	5,7 ^B (±5,2)	9,5 ^A (±6,3)	16,5 ^A (±16,2)	<0,01
N ₂ O Excretas depositadas	19,5(±5,2)	21,4(±4,8)	21,0(±6,4)	NS
Finca				
Emisiones parcial finca (tonelada CO ₂ eq/año)	225(±173)	155(±92,8)	146(±104)	NS
CH ₄ (ton CO ₂ eq /año)	165(±128)	105(±63,1)	81,4(±68,9)	NS
N ₂ O (tonCO ₂ eq /año)				
Fertilización, pastos	13,4(±18,6)	14,4(±13,3)	35,2(±53,6)	NS
Fertilización, pastos de corte	2,8(±12,9)	1,0(±2,4)	0,53(±0,80)	NS
Excretas en pasturas	43,9(±34,4)	34,0(±25,5)	28,4(±19,04)	NS
Animal				
Emisión entérica				
CH ₄ (gr/día por vaca)	311,8 ^A (±8,32)	261, ^B (±6,28)	232,2 ^C (±13,3)	<0,001
Emisión de N ₂ O (kg/ha/año)				
Fertilización, pastos	2,2(±2,1)	2,9(±2,2)	3,5(±4,7)	NS
Fertilización, pastos de corte	1,4(±3,2)	1,2(±2,0)	2,0(±5,4)	NS
Excretas en pasturas	8,3 ^A (±5,1)	7,4 ^A (±4,3)	4,4 ^B (±4,3)	<0,01

¹ Desviación Estándar

A, B, C: Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

Identificación y de variables relacionadas con la emisiones parciales de GEI

Los resultados de la primera etapa lograron identificar 27 variables que presentan diferencias significativas entre los grupos de fincas. En la segunda etapa de identificación de variables, se seleccionaron 11 variables que presentan menor grado de correlación entre sí, tal como se puede ver en la Figura 1.

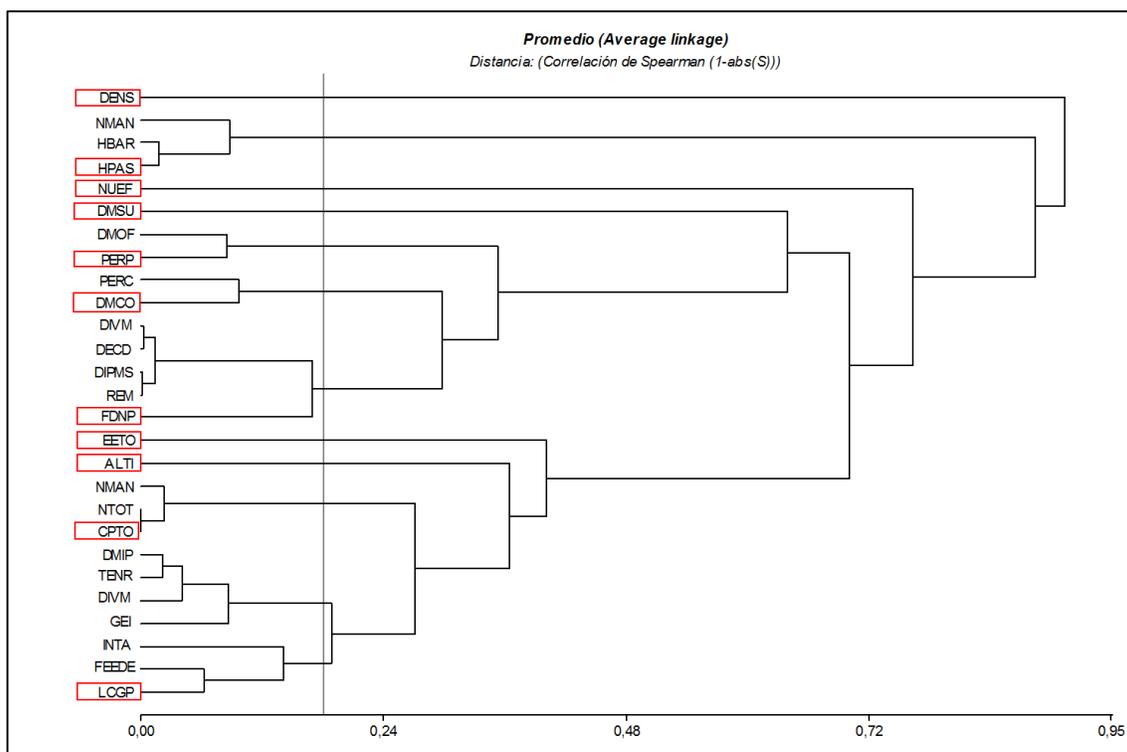


Figura 1. Selección de variables de interés mediante un análisis de conglomerados

VARIABLES SELECCIONADAS:

- DENS: Carga animal vacas en producción
- HPAS: Horas por día que las vacas en producción pasan en pasturas
- NUEF: % de eficiencia en el uso del Nitrógeno
- DMSU: MS consumida diariamente de subproductos
- PERP: % de la ración diaria aportada por pastos de piso
- DMCO: MS consumida diariamente de concentrados
- FDNP: % FND en la ración diaria
- EETO: Extracto etéreo en la ración (gr/día)
- ALTI: Altitud
- CPTO: Proteína Cruda en la ración diaria
- LCGP: Leche corregida a grasa y proteína

VARIABLES EXCLUIDAS DEL ANÁLISIS

- NMAN: N de excretas depositado en establo
- HBAR: Horas por día que las vacas en producción pasan en establo
- DMOF: MS consumida diariamente por alimentos suministrados al animal
- PERC: % de la ración diaria aportada por concentrados
- DIVM: Digestibilidad in vitro de la MS en la ración
- DECD: Decrecimiento de la digestibilidad análisis de conglomerados de la MS
- DPMS; Digestibilidad real de la MS; REM: Relación energía metabolizable
- NMAN: N contenido en excretas
- NTOT: N ingerido en la ración diaria
- DMIP: MS total ingerida diariamente
- TENR: Requerimiento total de energía en vacas en producción
- DMST: Cantidad de MS de la dieta digerible

GEI: Energía bruta ingerida
 INTA: Consumo sobre nivel de mantenimiento
 FEED: Eficiencia en el uso del alimento

Finalmente, en la tercera etapa permitió identificar la relación entre las variables de interés y los grupos de fincas (Figura 2). Aunque se utilizaron 11 variables, algunas de ellas se utilizaron en sus funciones cuadráticas, por no presentar linealidad. El resultado de este análisis permite crear una función de predicción, que considera las 11 variables y sus coeficientes de regresión para los ejes canónicos 1 y 2. La variable "EETO" presenta un peso relativo bajo en los dos ejes, por lo que se mantiene constante en el modelo.

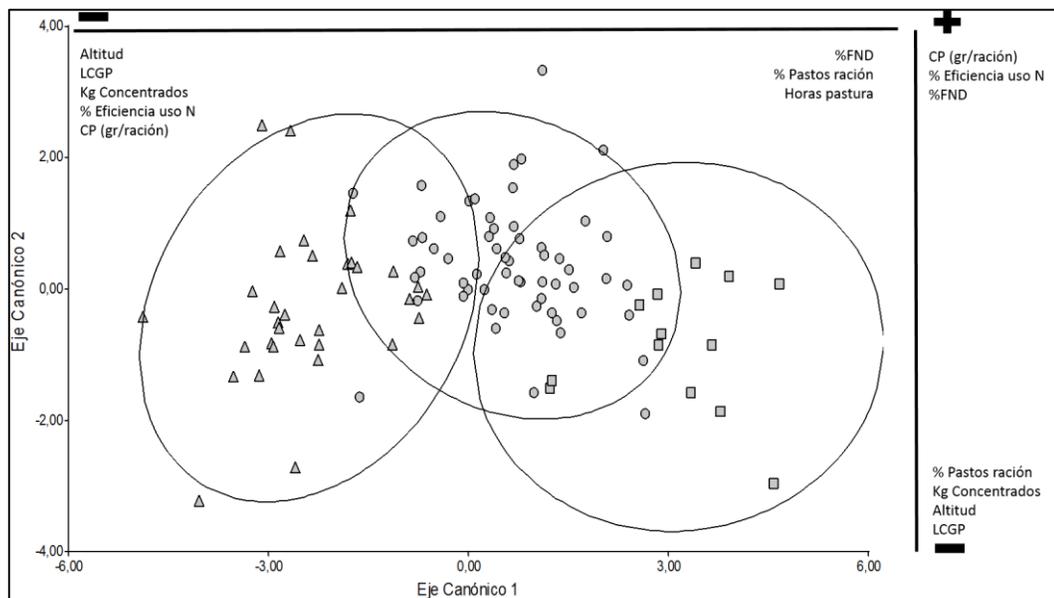


Figura 2. Grupos de fincas por emisiones parciales de GEI y su relación con las variables de interés Δ Conglomerado A; \circ Conglomerado B; \square Conglomerado C. Los signos +/- , demuestran incremento/decremento en el valor de las variables mencionadas.

La función resultante presenta una eficacia en la predicción de emisiones parciales del 89,42%, mientras que el resultado de la validación identificó un error asociado del 28% con una desviación estándar de 0,0016. Según Balzarini *et al.* (2008), el análisis discriminante permite ponderar la importancia relativa de cada variable, a la vez que permite generar una función de predicción para identificar la agrupación de nuevas observaciones, en este caso identificar el nivel de emisiones parciales de GEI en fincas lecheras. El eje 1 de la función resultante representa el 94,42% de la varianza, mientras que el eje 2 aporta con el 5,58%. Los valores de las variables para cada eje se presentan a continuación en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión para predecir emisiones parciales (CO₂eq/kg LCPG) en las fincas lecheras de Dos Pinos.

Variable	EJE	
	1	2
Constante	0,85	-22,53
Altitud	0,0012	-0,0016
Altitud ²	-0,00000036	0,00000026
Carga Animal	-0,23	0,16
LCGP	-0,68	-1,12
LCGP ²	0,01	0,000016
Horas en pastura	0,16	0,04
MS concentrado	-0,09	0,35
MS Subproductos	-0,13	-0,11
CP ración	1	7,81
%FND	0,05	0,1
EE ración	-0,24	1,57
EE ² ración	0,2	0,45
Eficiencia uso N	-0,03	0,72
% pasto de piso en la dieta	-0,005	-0,02

Análisis discriminante. Las variables Altitud, LCGP y EE presentan sus funciones cuadráticas debido a problemas de linealidad.

Relación entre variables de interés y emisiones

El análisis discriminante muestra una relación positiva entre LCGP y baja emisión parcial de carbono (Cuadro 6), así se tiene que la producción de leche del conglomerado A es superior en un 104% al conglomerado C y en un 45% al B, esto a pesar de que a mayor productividad, se registraron mayores emisiones de CH₄ (Cuadro 4). Gerber *et al.* (2011), al estudiar la relación entre intensidad de emisiones de GEI y aumento de la productividad en lecherías, encontraron resultados similares, y atribuyen esta asociación entre productividad y emisiones de CH₄ a un mayor consumo de alimento y razas más grandes. Sin embargo cuando se expresó las emisiones en kg de leche, encontraron que las emisiones disminuyen a medida que la producción aumenta.

La altitud diferencia al grupo A de los grupos B y C, pues se tiene que a medida que aumenta la altitud de las fincas, disminuye sus emisiones parciales de GEI. La influencia de la altitud en las emisiones parciales puede deberse a la asociación entre altitud y consumo de pastos en la ración diaria, pues este es mayor en menores altitudes (Cuadro 6). Estos son resultados similares a los encontrados por Baars (1998), que reportó un 67% de pastos en la ración diaria de vacas en producción en fincas de San Carlos (menor altura), y 42% de pastos en fincas ubicadas en Poás (mayor altura). Capper *et al.* (2009) y Gerber *et al.* (2010) mencionan que sistemas basados en pastoreo tienden a tener una mayor huella de carbono, esto debido en parte a la calidad de la alimentación, aunque O'brien *et al.* (2014) sugieren que la diferencia en la huella de carbono entre sistemas en pastoreo y en confinamiento no presenta diferencias significativas. En este estudio se identificó que, a medida que aumenta el porcentaje de pastos en la dieta, las emisiones parciales de GEI son mayores (Cuadro 6).

El porcentaje de FND presenta una tendencia similar al consumo de pastos en la ración y está asociada positivamente a fincas con altas emisiones parciales de GEI; de esta manera los conglomerados B y C presentan valores similares de FND con 50,6 y 54,9%, superiores al conglomerado A (Cuadro 6). Este comportamiento está asociado al % de pastos de piso en la ración diaria, aunque este logra diferenciar a todos los conglomerados.

La cantidad de PC en la dieta (kg/día/v) presenta también una asociación positiva con las fincas de menores emisiones parciales de GEI. El conglomerado A presenta un mayor consumo diario de PC, con 2,43gr, diferente de los conglomerados B y C con 1,94 y 1,71gr/día de PC respectivamente (Cuadro 6). Las variables de concentrado (kg MS) consumidos diariamente y la eficiencia en el uso del N (%) presentan una asociación similar con los conglomerados, así se tiene que las fincas del conglomerado A presentan una mayor eficiencia en el uso del N y mayor consumo de concentrados, lo que las diferencia de las fincas de medias (B) y altas (C) emisiones (ver Cuadro 6).

En cuanto a la variable horas en pastura, esta presenta una asociación con el conglomerado de emisiones medias y altas. Los conglomerados B y C presentan mayor tiempo en pasturas, a diferencia de las fincas del conglomerado A, las cuales pasan en promedio 15 horas al día en potreros. La carga animal diferenció al conglomerado C de A y B (Cuadro 6), valores similares a los reportados por Baars (1998), quien encontró carga animal de 3,4 y 3,7 para vacas en producción.

La variable carga animal, presentó una asociación positiva con las fincas de bajas emisiones parciales, pues se encontró que los conglomerados A y B presentan una carga animal estadísticamente similar (Cuadro 6). Este valor es similar a los reportados por Baars (1998), quien encontró carga animal de 3,4 y 3,7 para vacas en producción.

Cuadro 6. Variables asociadas a emisiones parciales de GEI

Variable	Conglomerado			
	A	B	C	P
Altitud msnm	1100 ^A (±649) ³	543,1 ^B (±524)	484,6 ^B (±521)	<0,001
Carga animal vaca prod/ha	3,46 ^A (±1,72)	3,12 ^A (±1,40)	1,99 ^B (±1,49)	<0,01
Pastura (horas/día)	15,1 ^B (±4,39)	17,6 ^A (±3,42)	18,23 ^A (±3,49)	<0,1
MS Concentrados (Kg/día/v)	5,85 ^A (±1,96)	4,5 ^B (±1,68)	3,28 ^C (±1,60)	<0,001
MS Subproductos (Kg/día/v)	2,13 ^A (±2,56)	1,26 ^B (±1,98)	0,55 ^B (±0,76)	<0,1
Pastos (% MS de ración)	45,2 ^C (±19,7)	53,4 ^B (±18,0)	65,4 ^A (±12,2)	<0,01
FDN (% MS)	44,4 ^B (±9,05)	50,6 ^A (±6,21)	54,9 ^A (±6,02)	<0,001
EE (gr/ración) (kg/día/v)	0,45 ^A (±0,14)	0,42 ^{AB} (±0,19)	0,35 ^B (±0,15)	<0,1
CP (gr/ración) (kg/día/v)	2,43 ^A (±0,65)	1,94 ^B (±0,47)	1,71 ^B (±0,39)	<0,001
Eficiencia en uso N (%) ¹	25,8 ^A (±4,18)	22,2 ^B (±2,79)	17,6 ^C (±3,54)	<0,001
LCPG (Kg/día por vaca) ²	19,08 ^A (±4,03)	13,4 ^B (±2,98)	9,5 ^C (±2,72)	<0,001

¹ Eficiencia en uso N = 100 x [Nitrógeno en la leche (g/día) dividido por Nitrógeno consumido (g/día)].

² LCPGC = Leche corregida por proteína y grasa (IDF, 210)

³ Desviación Estándar

^{A, B:} Prueba Kruskal-Wallis, valores que no comparten misma letras son diferentes (P<0.5)

Limitaciones del estudio

Este estudio se limitó a estimar las emisiones asociadas al manejo de vacas en producción, excluyendo el N₂O de excretas manejadas en establos, y las emisiones de CO₂; todo esto a nivel de finca, excluyendo las emisiones asociadas con la producción, transporte de insumos externos a finca (e.g. concentrados comprados). A pesar de estas limitaciones, los resultados nos permiten conocer de manera preliminar la tendencia en las emisiones de GEI en lecherías, ya que según Gerber *et al.* (2010) y Gollnow *et al.* (2014), el CH₄ puede representar más del 57% de la huella de carbono, y las emisiones provenientes de vacas en producción representan el 80% del total de CH₄ emitido (Gollnow *et al.* 2014). Por otro lado, Gerber *et al.* (2010) mencionan que las emisiones a nivel de finca pueden representar cerca del 93% de las emisiones totales relacionadas a la producción de leche. El CO₂ puede representar del 5-10% de las emisiones totales (Gerber *et al.* 2010).

Conclusiones

Se ha podido identificar tres niveles de emisiones parciales de GEI en fincas lecheras de Dos Pinos, las mismas que presentan características distintivas tanto de ubicación, climáticas, manejo y alimentación de los animales. La identificación de los niveles de emisión en fincas y la composición de estas emisiones, brindan el conocimiento necesario para entender que los esfuerzos y acciones de mitigación de emisiones de GEI en fincas productoras de leche, deben ser diferenciados y dirigidos a la importancia relativa que presentan ciertas fuentes de emisión. Aunque el CH₄ es el gas de mayor importancia en todos los grupos de fincas, los esfuerzos por reducir emisiones provenientes de fertilización de pasturas podrían tener efectos más inmediatos si se aplican a las fincas determinadas.

Aunque las emisiones de GEI responden a dinámicas complejas entre factores genéticos, de ubicación y de manejo, se ha podido identificar un conjunto de variables que permiten realizar una aproximación hacia la categorización de fincas por sus emisiones de GEI en la cooperativa Dos Pinos. Si bien es importante y de interés nacional e internacional la reducción de emisiones de GEI por parte del sector ganadero, es necesario que se evalúe la vulnerabilidad de los sistemas ganaderos dependientes de fuentes de alimentación externas, y cómo fenómenos globales (climáticos o económicos) pueden afectar su sostenibilidad.

Bibliografía

- Adkinson, R.; Farmer, W.; Jenny, B. 1993. Feeding practices and income over feed cost on pasture-oriented dairy farms in Louisiana. *Journal of dairy science* 76(11): 3547-3554.
- Amador, M.; Rodriguez, J.C.; Arroyo, A. 2010. Dinámica del rendimiento y digestibilidad del King Grass en tres frecuencias de corte. *Tierra Tropical* 6(1): 63-69.
- Baars, R. 1998. Nutrition management, nitrogen efficiency, and income over feed cost on dairy farms in Costa Rica. *Journal of dairy science* 81(3): 801-806.
- Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Casanoves, F.; Rienzo, J.D.; Robledo, C.W. 2008. Manual del Usuario Córdoba, Argentina, Brujas. 336 p.
- Bannink, A.; Ellis, J.L.; Mach, N.; Spek, J.W.; Dijkstra, J. 2013. Interactions between enteric methane and nitrogen excretion in dairy cows. *Advances in Animal Biosciences* 4(Supplements1): 19-27. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S2040470013000277> doi:10.1017/S2040470013000277
- Bargo, F.; Muller, L.D.; Delahoy, J.E.; Cassidy, T.W. 2002. Performance of High Producing Dairy Cows with Three Different Feeding Systems Combining Pasture and Total Mixed Rations. *Journal of dairy science* 85(11): 2948-2963. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030202743816> [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- Berchielli, T.T.; Messana, J.D.; Canesin, R.C. 2012. Enteric methane production in tropical pastures. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 13(4): 954-968.
- Bradshaw, C.J.A.; Brook, B.W. 2014. Human population reduction is not a quick fix for environmental problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Disponible en <http://www.pnas.org/content/early/2014/10/23/1410465111.abstract> 10.1073/pnas.1410465111
- 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>
- Capper, J.; Cady, R.; Bauman, D. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of animal science* 87(6): 2160-2167.

- Caro, D.; Davis, S.; Bastianoni, S.; Caldeira, K. 2014. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. *Climatic Change* 126(1-2): 203-216. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1197-x>
- Clapp, C.; Briner, G.; Karousakis, K. 2010. *Low-emission development strategies (LEDS): Technical, institutional and policy lessons*, OECD Publishing.
- CORFOGA (Corporación ganadera, CR). 2013. *Informe Encuesta Ganadera 2012*. San José, Costa Rica, 72 p.
- Costa Rica. Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones. 2009. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Calderón*; Alvarado. eds. San José, Costa Rica, 109 p.
- Cottle, D.; Nolan, J.; Wiedemann, S. 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science* 51(6): 491-514.
- Chacón-Hernández, P.A.; Vargas-Rodríguez, C.F. 2010. Consumo de Pennisetum purpureum cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos. *Agronomía Mesoamericana* 21(2): 267-274.
- Chacón, A.R.; Montenegro, J.; Sasa, J. 2009. *Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero y Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. 78 p.
- De La Convención, Protocolo de Kyoto 1998. Marco de Las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas 25: 27.
- Dos Pinos. 2014. Logros obtenidos (en línea). Costa Rica. Disponible en http://www.dospinos.com/app/cms/www/index.php?id_menu=160&parent_id_menu=3
- FAO. 2012. *Ganadería Mundial 2011-La ganadería y la seguridad alimentaria*. Roma, FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2010. *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment*, 95 p.
- Garzón, J.E.; Cárdenas, E.A. 2013. Anthropogenic emissions of ammonia, nitrates and nitrous oxide: nitrogen compounds that affect the environment in the Colombian agricultural sector. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 60(2): 121-138. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/view/40671/42444>
- Gerber, P.; Vellinga, T.; Opio, C.; Henderson, B.; Steinfeld, H. 2010. *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector A Life Cycle Assessment Africa*, S 1: 94.
- 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 animal 7(Supplements2): 220-234. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113000876> doi:10.1017/S1751731113000876
- Gollnow, S.; Lundie, S.; Moore, A.D.; McLaren, J.; van Buuren, N.; Stahle, P.; Christie, K.; Thylmann, D.; Rehl, T. 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal* 37(1): 31-38. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=95621925&site=ehost-live&scope=site> 10.1016/j.idairyj.2014.02.005
- Hardie, C.A.; Wattiaux, M.; Dutreuil, M.; Gildersleeve, R.; Keuler, N.S.; Cabrera, V.E. 2014. Feeding strategies on certified organic dairy farms in Wisconsin and their effect on milk production and income over feed costs. *Journal of dairy science* 97(7): 4612-4623. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=96805829&site=ehost-live&scope=site> 10.3168/jds.2013-7763
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas *International Journal of Climatology* 25(15): 1965-1978. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1276> 10.1002/joc.1276
- Hook, S.E.; Wright, A.-D.G.; McBride, B.W. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea* 2010.
- Houghton, J.T. 1996. *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. (2).
- Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; B.A., C.; N., H.; A., K.; K., M. 1996. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change* Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; B.A., C.; N., H.; A., K.; K., M. eds. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. 588 p.
- IDF (International Dairy Federation, USA). 2010. *A Common Carbon Footprint Approach for Dairy: The IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector*, International Dairy Federation.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2014. Factores de emisión gases efecto invernadero. San José, Costa Rica. Disponible en http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factoresemision-gei-2014_1.pdf
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories. Programme Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. eds. Japón, IGES.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change,) 2013. Summary for Policymakers Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)
- Jiménez-Castro, J.P.; Elizondo-Salazar, J.A. 2014. Balance de Nitrógeno en fincas para la producción de leche en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 1(25): 151-160.
- Johnson, K.A.; Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of animal science* 73(8): 2483-2492.
- Lillywhite, R.; Collier, R. 2009. Why carbon footprinting (and carbon labelling) only tells half the story. *Aspects of Applied Biology* (95): 73-77.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2013. Concepto NAMA Fincas Ganaderas. San José, Costa Rica, 12 p.
- Mata, L. 2011. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Arias, L.M. ed. San José, Costa Rica, Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, CINA. 132 p.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, CR). 2010. Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014. Teresa Obregón, Zamora María. San José, Costa Rica.
- MINAET, M.d.A., Energía y Telecomunicaciones, CR). 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. San José, Costa Rica, 109 p.
- Montenegro, J.; Abarca, S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. San José, Costa Rica. MAG/IMN.
- Mora, C.V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- Mora, M.A.; Figueroa, C.B. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- Moraes, L.E.; Strathe, A.B.; Fadel, J.G.; Casper, D.P.; Kebreab, E. 2014. Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001, The National Academies Press. Disponible en http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=9825
- O'Brien, D.; Capper, J.L.; Garnsworthy, P.C.; Grainger, C.; Shalloo, L. 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *Journal of dairy science* 97(3): 1835-1851. Disponible en

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030214000319>
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7174>

- Oenema, O.; Wrage, N.; Velthof, G.; Groenigen, J.W.; Dolfing, J.; Kuikman, P. 2005. Trends in Global Nitrous Oxide Emissions from Animal Production Systems Nutrient cycling in Agroecosystems 72(1): 51-65. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-004-7354-2> 10.1007/s10705-004-7354-2
- Ortiz, M.E. 2009. Atlas digital de Costa Rica 2008. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica 1 CD-Rom. (CD-Rom).
- Patel, M.; Wredle, E.; Börjesson, G.; Danielsson, R.; Iwaasa, A.D.; Spörndly, E.; Bertilsson, J. 2011. Enteric methane emissions from dairy cows fed different proportions of highly digestible grass silage. Acta Agriculturae Scandinavica: Section A, Animal Science 61(3): 128-136. Disponible en <http://ida.lib.uidaho.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=67188129&site=ehost-live&scope=site> 10.1080/09064702.2011.616216
- Ramin, M.; Huhtanen, P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. Journal of dairy science 96(4): 2476-2493.
- Sánchez, J.M.; Piedra, L.; Soto, H. 1998. Calidad nutricional de los forrajes en zonas con niveles bajos de producción de leche, en la zona norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 22(1): 69-76.
- Sánchez, J.M.; Soto, H. 1999a. Niveles de energía estimada en los forrajes de un distrito de mediana producción lechera, Fortuna de San Carlos, en la zona norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 23(2): 179-185.
- _____. 1999b. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche en el trópico húmedo del norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense 23(2): 165-171.
- Sánchez, J.M.; Soto, H. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. Revista Nutrición Animal Tropical (Costa Rica) 3(1): 3-18.
- Scarborough, P.; Appleby, P.; Mizdrak, A.; Briggs, A.M.; Travis, R.; Bradbury, K.; Key, T. 2014. Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK Climatic Change 125(2): 179-192. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1169-1> 10.1007/s10584-014-1169-1
- Scott, R. 1986. Cheesemaking practice. Cheesemaking practice. (Ed. 2).
- Schils, R.L.M.; Eriksen, J.; Ledgard, S.F.; Vellinga, T.V.; Kuikman, P.J.; Luo, J.; Petersen, S.O.; Velthof, G.L. 2013. Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from herbivore production systems animal 7(Supplements1): 29-40. Consultado 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1017/S175173111100187X> doi:10.1017/S175173111100187X

- Sehested, J.; Kristensen, T.; Sjøgaard, K. 2003. Effect of concentrate supplementation level on production, health and efficiency in an organic dairy herd. *Livestock Production Science* 80(1-2): 153-165. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622602003172>
[http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00317-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00317-2)
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Agropecuaria, CR). 2000. Estudios económicos e información. *Boletín estadístico* (11): 18.
- _____. 2014. *Boletín Estadístico Agropecuario* 24: Serie cronológica 2010-2013. San José, Costa Rica, 210 p.
- Soto, C.; Valencia, A.; Galvis, R.D.; Correa, H.J. 2005. Effects of the cutting age and the level of nitrogen fertilization over the energetic and proteic value of the grass 'Kikuyo' (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(1): 17-26.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; Haan, C.d. 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options, Food and Agriculture. Organization of the United Nations (FAO).*
- United Nations, D.o.E.a.S.A. 2009. *World population prospects: the 2008 revision.* New York: Department for Economic and Social Affairs.
- Van Horn, H.; Wilkie, A.; Powers, W.; Nordstedt, R. 1994. Components of dairy manure management systems. *Journal of dairy science* 77(7): 2008-2030.
- Van Middelaar, C.E.; Berentsen, P.B.M.; Dijkstra, J.; van Arendonk, J.A.M.; de Boer, I.J.M. 2014. Methods to determine the relative value of genetic traits in dairy cows to reduce greenhouse gas emissions along the chain. *Journal of dairy science* 97(8): 5191-5205. Consultado 2014/09/17. Disponible en [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00378-6/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00378-6/abstract)
10.3168/jds.2013-7413
- Vargas-Leitón, B.; Solís-Guzmán, O.; Sáenz-Segura, F.; León-Hidalgo, H. 2013. Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado. *Agronomía Mesoamericana* 2(24): 257-275. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n02_257.pdf
- Villalobos, L.; Sánchez, J.M. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense* 34(1): 43-52.
- Villalobos, L.; Arce, J.; WingChing, R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 37(2): 91-103.
- Villarreal, M. 1992. Evaluación comparativa de ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. *Agronomía Costarricense* 16(1): 37-44.

- 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.
- Watson, R.T.; Rodhe, H.; Oeschger, H.; Siegenthaler, U. 1990. Greenhouse Gases and Aerosols. *In* Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; Ephraums, J.J. eds. 1990. Climate Change. The IPCC scientific assessment. . J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums ed. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. p. 40.
- Wiedmann, T.; Minx, J. 2008. A definition of 'carbon footprint'. Ecological economics research trends 1: 1-11.
- Wigley, T.M.L.; Barnett, T.P. 1990. Detection of the Greenhouse Effect in the Observations *In* Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; Ephraums, J.J. eds. 1990. Climate Change. The IPCC scientific assessment. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. p. 17.
- Wolf, C.A. 2010. Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. Journal of dairy science 93(10): 4942-4948. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005254>
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2998>
- Yan, T.; Mayne, C.S.; Porter, M.G. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. International Congress Series 1293(0): 123-126. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513106001579>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.024>

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta para estimar emisiones de GEI en fincas productoras de leche de la cooperativa Dos Pinos

Encuestador/a:	Fecha:	Encuesta N:
-----------------------	---------------	--------------------

Encuesta información de las fincas lecheras de la Cooperativa de Leche Dos Pinos

- ***Saludo y presentación personal: quién soy***

Buenos días, soy Juan Pablo Iñamagua, ecuatoriano y estudiante de la maestría de Agroforestería Tropical en CATIE. Me encuentro realizando mi proyecto de investigación de maestría, en el marco del proyecto EC-LEDS liderado por CATIE.

El CATIE en colaboración con DOS PINOS está realizando un estudio en relación a la mitigación del cambio climático en lecherías de Costa Rica. El objetivo de la encuesta es: conocer las prácticas de manejo del hato y de la finca, los usos del suelo, el manejo de excretas e información sobre los factores productivos.

La investigación busca identificar diseños de fincas dedicadas a la producción de leche con bajas emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Así mismo, la comparación de diversos sistemas productivos para analizar la cadena productiva de la leche.

Antes de hacerle la encuesta deseo aclararle varios puntos:

- La aplicación de la encuesta es voluntaria y dura alrededor de una hora, deseo tener su permiso para llevarla a cabo.
- Si mis preguntas no son claras o si desea alguna explicación adicional por favor no dude en preguntarme.
- La información que usted proporcione nos permitirá desarrollar propuestas para un mejor manejo del hato, con respecto al mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Otra cosa importante a aclarar es que sus respuestas serán anónimas. Todo lo que usted diga es importantísimo para mí y para el proyecto ya que nos servirán para entender mejor lo que los productores conocen, pero las respuestas de todas las entrevistas serán analizadas en conjunto y no se sabrá qué es lo que dijo cada persona.

INFORMACIÓN GENERAL

Nombre productor:	Número de entrega:
Nombre de la persona entrevistada:	Relación de la persona entrevistada con productor:
Área total de la finca:	Área destinada a la ganadería:
Infraestructura destinada a la ganadería (m ²):	Teléfono:

1. USOS DE SUELO

1.1. ¿Cuenta con otros cultivos? **Sí:**____ **No:**____

Especie	Superficie (Ha)

1.2. ¿Cuenta con plantaciones maderables? **Sí**__ **No**__

Especie	Superficie	Edad

1.3. ¿Cuenta con área de bosques? Si__ No__ Superficie____ Edad:__

1.4. ¿Cuenta con algún tipo de cercas vivas? Si__ No__ Porcentaje del total__

1.5. ¿Qué especies son predominantes en las cercas vivas?_____

2. INFORMACIÓN MANO DE OBRA

2.1. ¿Cuántos jornales tiene en su finca?: _____

Ocasional _____ Familiar _____ Permanente _____

2.2. ¿Cuál es el costo mensual de la mano de obra? _____

2.3. Indique la cantidad y costo del consumo mensual promedio de cada tipo de energía utilizado en su finca

Energía	Costo mensual
Diésel (L)	
Gasolina (L)	
Gas (GLP)	
Electricidad (kw)	
Otra (especifique)	

3. COMPOSICIÓN Y MANEJO DEL HATO

3.1. ¿Cuál es la raza de bovinos predominantes en su finca?

Raza	Porcentaje

3.2. ¿Cuál es la población total de su hato? _____

3.3. ¿Cuántas vacas en ordeño tiene actualmente? _____

Peso promedio (R 1)____

Peso promedio (R 2)____

3.4. ¿Cuántas vacas secas tiene? _____

3.5. ¿Cuántas vacas tiene de primer parto? _____

Peso promedio (R 1)____

Peso promedio (R 2)____

3.6. ¿Cuántas novillas entre 1-2 años? _____

Peso promedio (R 1)____

Peso promedio (R 2)____

3.7. ¿Cuántos terneros (de 0-1año) tiene? _____

Peso promedio (R 1)____

Peso promedio (R 2)____

3.8. ¿Cuántos toros tiene? _____ Peso promedio____

3.9. ¿Cuántas salidas de ganado existieron en el 2013?_____

3.10. ¿Cuál es el tipo de manejo de las vacas en producción? (Si es Semi-estabulado preguntar horas): _____

3.11. ¿Cuál es el tipo de manejo de las vacas secas?:_____

3.12. ¿Cuál es el tipo de manejo de las Novillas?:_____

3.13. ¿Cuál es el tipo de manejo de las terneras?_____

3.14. ¿Cuál es la producción de leche promedio (L/animal/día)?

Razas	Ene - Abr	May – Ago	Sept - Dic

3.15. ¿Cuánto dura el proceso de ordeño (desde la entrada de los animales hasta su salida)_____ (Horas)?

3.16. ¿Cuál es el costo mensual del transporte de la leche?_____

4. CLIMA PASTOS Y FORRAJES

4.1. Percepción del Clima

4.1.1. ¿Cuáles son los meses más lluviosos? (marque con una x)

En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic

4.1.2. ¿Cuáles son los meses más secos? (marque con una x)

En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic

4.2. Pastoreo

4.2.1. ¿En cuántos potreros maneja su ganadería? _____

4.2.2. ¿Cuál es la superficie promedio de sus potreros? _____

4.2.3. ¿Qué pastos utiliza y cuántos potreros tiene cada pasto?

Nombre común	N ° potreros	Observaciones

4.2.4. ¿Cuál es el periodo de descanso de los potreros? (días)_____

4.2.5. ¿Cuántas horas es el periodo de ocupación de un potrero? _____

4.2.6. ¿Usted fertiliza sus potreros? Sí_____ No_____

4.2.7. ¿Cuál es el fertilizante y la cantidad aplicada por ha?

Pasto	Fertilizante	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC

4.3. Forrajes y pastos de corta

4.3.1. ¿Cuenta con forrajes y/o pastos de corta para la alimentación del ganado? Sí_ No__

4.3.2. Nombre la especies y la superficie

Nombre común	Área (ha)	Intervalo entre cortes (días)

4.3.3. ¿Cuál es el costo de mano de obra por cada turno de corta?_____

Especie 1_____ Especie 2_____ Especie 3_____

4.3.4. ¿Cuál es el costo de transporte del forraje por cada turno de corta? _____

Especie 1_____ Especie 2_____ Especie 3_____

4.3.5. ¿Usted fertiliza por cada turno de corta? Sí _____ No_____

4.3.6. ¿Cuál es el fertilizante y la cantidad por cada turno de corta?

Forraje	Nombre	Ene – Abr (Kg)	May – Ago (Kg)	Sept – Dic (Kg)

4.3.7. ¿Cuál es el costo del transporte de los fertilizantes?_____

5. ALIMENTACIÓN

5.1. Suplementación por categoría animal

5.1.1. ¿Cuál es la dieta de las vacas en producción (Kg/día)?

Razas	Alimento*	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic

*Incluye concentrados, forrajes y pastos de corta

5.1.2. ¿Cuál es la dieta de las vacas secas (Kg/día)?

Alimento*	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic

*Incluye concentrados, forrajes y pastos de corta

5.1.3. ¿Cuál es la dieta de las novillas (Kg/día)?

Alimento*	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic

*Incluye concentrados, forrajes y pastos de corta

5.1.4. ¿Cuál es la dieta de las terneras (Kg/día)?

Alimento*	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic

*Incluye concentrados, forrajes y pastos de corta

5.1.5. ¿Cuál es el costo mensual del transporte de los concentrados? _____

6. MANEJO DE EXCRETAS

6.1. Indique el manejo del estiércol en vacas en producción (marcar con X y foto):

- No manejo : _____
 - Efluentes (L/día): _____

Vacas Producción	Vacas secas	Novillas	Ternereras

- Biodigestor: _____
 - Volumen (m3): _____ Cantidad purines (L): _____
 - Frecuencia de aplicación (días): _____

Vacas Producción	Vacas secas	Novillas	Ternereras

- Pila seca (cubierta): _____
 - Área (m2): _____ Cantidad estiércol(Kg): _____
 - Frecuencia de uso (días): _____

Vacas Producción	Vacas secas	Novillas	Ternereras

- Pila seca (aire libre): _____
 - Área (m2): _____ Cantidad estiércol(Kg): _____
 - Frecuencia de uso (días): _____

Vacas Producción	Vacas secas	Novillas	Ternereras

- Laguna: _____
 - Volumen (m3): _____ Cantidad purines (L): _____
 - Frecuencia de aplicación (días): _____

Vacas Producción	Vacas secas	Novillas	Ternereras

6.2.¿Cuál es la disposición final del estiércol procesado en la finca (marcar con una X)?

a) Uso sólidos (Kg/ha):

Uso suelo	Época		
	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic
Pastos			
Bancos forrajeros			

b) Uso líquidos (L/ha):

Uso suelo	Época		
	Ene - Abr	May - Ago	Sept - Dic
Pastos			
Bancos forrajeros			

Anexo 2. Especies de pastos registradas en las encuestas

Nombre común	Nombre científico	Agrupación
Brachiaria decumbens	Brachiaria Decumbens	Brachiaria
Brachipara	Brachiaria arrecta x B. mutica	Brachiaria
Brizantha	Brachiaria brizanta	Brachiaria
Mombaza	Brachiaria brizanta, CIAT 26124	Brachiaria
Mulato	Brachiaria híbrido CIAT 1873	Brachiaria
Taner	Brachiaria arrecta	Brachiaria
Toledo	Brachiaria brizanta CIAT-26110	Brachiaria
Camerún	Pennisetum purpureum	Pennisetum
Candelaria	Pennisetum purpureum var. Candelaria	Pennisetum
Elefante	Pennisetum purpureum	Pennisetum
Estrella	Cynodon nlemfuensis	Cynodon
Taiwan	Pennisetum purpureum	Pennisetum
Maralfalfa	Pennisetum sp	Pennisetum
Kikuyo	Pennisetum clandestinum	Kikuyo
King Grass	pennisetum purpureum	King Grass
Ratana	Ischaemum indicum	Ischaemum
Ryegrass	Lolium perenne	Lolium
San Juan	Setaria anceps	Setaria
Suazi	Digitaria swazilandensis	Digitaria
Tanzania	Panicum maximum	Panicum

Anexo 3. Distribución altitudinal de pastos en fincas encuestadas

PASTO	PROMEDIO	MIN	MAX	N° OBSERVACIONES
Kikuyo	1847	1400	2400	15
Brachipara	600	100	1700	6
Ratana	268,4	100	700	19
Tanzania	300	200	500	3
Toledo	400	200	600	3
Brachiaria decumbens	500	300	700	6
Taner	535	100	800	23
Mombaza	287	100	600	23
Estrella	690	100	1700	41
Mulato	133	100	200	3
Brizantha	450	100	900	8
Ryegrass	1700	1700	1700	1

Anexo 4. Características de los géneros de pastos de piso utilizados en alimentación de vacas lactantes en fincas de asociados a Dos Pinos

Género/especie	Materia seca			PC			FND			EE			DIVMS		
	N*	PROM	D.E.	N*	PROM	D.E.	N*	PROM	D.E.	N*	PROM	D.E.	N*	PROM	D.E.
King-grass	21	17,3	3,6	21	9,2	2,8	12	71,9	3,9	6	1,5	0,2	23	67,4	7,5
Kikuyo	2	15,8	1,8	6	18,5	1,2	4	56,4	1,9	6	3,5	1,0	1	67,8*	
Pennisetum	22	18,8	4,6	22	9,6	2,1		71**	-		1,5**	-		67,4**	
Brachiaria	12	19,3	1,9	18	10,3	2,0	10	67,4	2,8	2	2,3	0,3	13	68,4	3,3
Cynodon	10	24,7	3,6	14	13,3	2,5	6	72,6	1,5	4	2,0	0,2	8	65,9	4,2
Ischaemun	4	22,3	5,0	6	8,8	1,1	4	68,8	0,8		1,5**	-	5	62,3	3,8
Setaria	6	14,3	2,1	8	12,1	2,1	2	66,2	0,8	4	2,8	0,5	3	65	9,1
Panicum	2	27,2	6,7	2	9,3	1,4	2	68,9	0,1		1,5**		2	66,8	4,1
Hemarthria		20**	-	2	8,5	1,8		71**	-		1,5**	-	1	62	-
Digitaria		20**	-	2	10,4	2,2		71**	-		1,5**	-	1	63,6	-
Lolium	6	15,9	2,4	2	18,9	6,6	6	49,8	5,8		2,5**	-	6	77,9	6,2

*Número de estudios consultados

** Datos ponderados

Anexo 5. Características de los subproductos utilizados en alimentación en fincas de asociados a Dos Pinos

Subproducto	MS	PC	EE	FND	DIVM	Fuente
CITROPULPA	82,4	4,9	4,9	25	85	Dos Pinos
CITROCON	86	5,5	1	25	85	Dos Pinos
Cáscara de piña	8,04	6,56	1,20	77,6	86,19	Gutierrez, 2003
Banano	21,10%	3,9	1,40	80	75	CINA
Cáscara de banano	13	10	8,5	50,1	75	Dormond et al., 2011
Cáscara de yuca	87,7	5,5	1,10	50	75	McDowell et al., 1974
Cascarilla de soya	87,4	10	2,4	66,7	75	CINA
Coquito	87,30 (93,8)	12	14	50	85	CINA
FIBROSO	86	5,5	2	25	85	Dos Pinos
Maíz molido	86,5	9,20	4,3	10,3	75	
Pollinaza	76,73	15,19	1,40	68,80	52,70	Francisco Gutiérrez, 2003
Vástago de plátano	11,24	8,06	0,10	60	75	

Anexo 6. Características de los concentrados utilizados en alimentación en fincas de asociados a Dos Pinos

Concentrados	MS	PC	EE	FND	DIVM
APOLO 16	87	16	13,50	15	85
Cebada	89	15	2,20	21	85
Destilado de maíz	90	26	10,70	39	85
ENALAC	87	13	3,5	15	85
Harina de soya	92	45	1,40	12	85
LACTANCIA SM	87	17	5,5	10	85
Melaza	76,7	1,70	0,20	0,40	85
PERFECTA	87	14	3,50	15	85
PREDILECTA	87	16	3,5	15	85
SUPLEMAX	87	19	3,50	15	85
VAPFEED	87	16	3	15	85
Promedio	87	18,1	4,6	15,7	85