

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Área Académica Agroforestal

Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Trabajo Final Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal
del Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de
Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

**ESTIMACION DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y
ACCIONES DE DISMINUCIÓN EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINA
LECHERA “SAN JOSÉ” (SAN RAMÓN DE ALAJUELA)**

María Daniela Alpízar Hidalgo

Campus Tecnológico Central Cartago, Costa Rica

Octubre, 2022



Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Ph D. Edgar Ortiz Malavasi

Profesor Tutor

Ing. Laura Patricia Brenes Peralta, PhD

Profesora Lectora

Ing. Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D

Presidente de Tribunal

Coordinador del Área Académica Agroforestal

María Daniela Alpízar Hidalgo

Sustentante

AGRADECIMIENTOS

Llegar a este punto no hubiera sido posible sin la educación pública, el infinito apoyo de mi familia.
Agradecimiento a mis abuelos (mamá Franca y papá Ladio) por el esfuerzo para crear la lechería “San José”, a mi madre y a mi papá por hacer un equipo grandioso para continuar con la finca que me ha visto crecer y que sueño con verla crecer y seguir ofreciendo alimentos, tradición, bienestar, naturaleza, cultura y amor.

Gracias a todas las personas que complementaron esta etapa académica y personal, pero en especial a Charlyn Masís e Ignacio Castro, por tanta amistad, apoyo y equipo que hicimos durante toda la maestría.

A mi tutor, Edgar Ortiz, y profes TEC con los que tuve el honor de compartir.

DEDICATORIA.

A las familias ganaderas que trabajan todos los días.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>Problema de investigación y su importancia</i>	4
1.3. <i>Objetivos</i>	6
REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. <i>GEI, cambio climático y huella de carbono</i>	7
2.2. <i>Cambio climático en América Latina</i>	10
2.3. <i>Cambio climático en Costa Rica</i>	11
2.4. <i>Actividad ganadera y cambio climático</i>	16
2.5. <i>Sistema de producción responsable y sostenible de leche bovina</i>	24
MARCO METODOLOGICO	28
3.1. <i>Enfoque y tipo de investigación</i>	28
3.2. <i>Marco espacial</i>	29
3.3. <i>Marco temporal</i>	38
3.4. <i>Identificación de fuentes de emisión en el sistema de producción de estudio.</i>	38
3.4.1. <i>Recolección y creación de los datos</i>	41
3.5. <i>Estimación de emisiones de GEI en kg CO₂e/kg leche</i>	42
3.5.1. <i>Emisiones provenientes del ganado</i>	45
3.5.2. <i>Emisión de CO₂ por uso de combustibles</i>	58
3.5.3. <i>Emisión de CO₂ por uso de electricidad de la finca</i>	59
3.5.4. <i>Emisión CH₄ por aguas residuales</i>	60
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1. <i>Emisiones provenientes del ganado</i>	60
4.2. <i>Emisión de CO₂ por uso de combustibles</i>	67
4.3. <i>Emisión de CO₂ por uso de electricidad</i>	68

4.4.	Emisión CH ₄ por aguas residuales	69
4.2.	<i>Emisiones equivalentes con la producción de leche</i>	70
4.3.	<i>Acciones de reducción de GEI</i>	74
4.3.1.	Carbono neutralidad en sistemas de producción bovina.....	75
4.3.2.	<i>Propuestas de acciones de disminución y prevención de GEI para producción responsable y sostenible</i>	78
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1.	<i>Conclusiones</i>	84
5.2.	<i>Recomendaciones</i>	85
6.	Referencias	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Kg de CO ₂ e emitidos por litros de leche producidos	43
Ecuación 2.	Contenido de grasa y proteína corregido por la producción total de leche	44
Ecuación 3.	Población promedio anual de ganado	45
Ecuación 4.	Emisiones (t CO ₂ -eq/año) por fermentación entérica	46
Ecuación 5.	Emisiones (t CO ₂ -eq/año) por gestión del estiércol	47
Ecuación 6.	Emisiones directas anuales de N ₂ O-N de aportes de gestión del estiércol por pastoreo.....	50
Ecuación 7.	Factor de emisión para emisiones de N ₂ O del N de orina y estiércol depositado en pasturas.....	50
Ecuación 8.	Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/ categoría T en el país, kg N animal ⁻¹	51
Ecuación 9.	Factor de conversión, para obtener el N ₂ O	51
Ecuación 10.	Cantidad anual de N ₂ O- N producida por deposición atmosférica de N volatizado de suelos gestionados, kg N ₂ O-N año ⁻¹	52
Ecuación 11.	Emisiones directas de N ₂ O de la gestión del estiércol en confinamiento, kg N ₂ O año ⁻¹	54
Ecuación 12.	Volatilización del N en forma de NH ₃ y NO _x del sistema de gestión del estiércol	55
Ecuación 13.	Emisiones indirectas de N ₂ O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol en confinamiento, kg N ₂ O año ⁻¹	56

Ecuación 14. N de estiércol gestionado disponible para la aplicación en suelos gestionados y otros	57
Ecuación 15. Emisiones (t CO ₂ -eq/año) por uso de electricidad	59
Ecuación 16. Aguas residuales domésticas del sistema	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intensidad de emisiones de kg de CO ₂ eq por kg de proteína en diferentes tipos de ganado	2
Figura 2. Emisiones de la agricultura (2001-2010)	11
Figura 3. Acciones de mitigación desarrolladas en el sector agropecuario.	13
Figura 4. Tendencias de las emisiones totales de Costa Rica entre 1990-2017 por sector.	15
Figura 5. Emisiones del sector agricultura entre 1990-2017, Costa Rica.	16
Figura 6. Producción total regional en base a la producción de proteína por tipo de ganado, en millones de toneladas de proteína.	17
Figura 7. Emisiones regionales totales y contribución relativa por especies de ganado.	18
Figura 8. Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector agricultura, 2017.	19
Figura 9. Tendencias de las emisiones del sector.	20
Figura 10. Emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol (general, aplicación a suelos y producto de pastoreo) de 7 décadas por tipo de gas, en kilotoneladas	21
Figura 11. Emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol (general, aplicación a suelos y producto de pastoreo) del 2010 al 2020 por tipo de gas, en kilotoneladas	21
Figura 12. Flujo de participación de bovinos en finca lechera.	25

Figura 13. Ubicación del área en estudio	31
Figura 14. Temperaturas mínima, media, máxima de acuerdo con IMN en fincas	32
Figura 15. Zonas de vida y precipitación en fincas	32
Figura 16. Identificación de tipo de uso en finca Santiago.....	36
Figura 17. Identificación de tipo de uso en finca Alto Villegas	36
Figura 18. Distribución por tipo de uso de suelos en fincas.....	37
Figura 19. Participación en fermentación entérica por grupo de animales.....	62
Figura 20. Emisiones directas N ₂ O por producción de excretas y grupos (CO ₂ eq kg).....	65
Figura 21. Uso de combustibles por vehículos	67
Figura 22. Consumo mensual de kWh durante 2021 en sistema de producción.	69
Figura 23. Emisiones totales en Ton CO ₂ eq	71
Figura 25. Comparación de diferentes resultados de CO ₂ e/kg leche	72
Figura 26. Emisiones y remociones en una finca ganadera.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Emisión de metano (Gg CO ₂ -eq) por fermentación entérica y manejo del estiércol de ganado bovino en Costa Rica para el año 2010.....	24
Tabla 3. Ganado y su uso de pastoreo en el sistema de producción	33
Tabla 4. Tipo de uso en fincas por área.....	37
Tabla 5. Investigaciones sobre huella de carbono o relacionadas en ganadería..	39
Tabla 6. Potencial de Calentamiento Global (PCG) de tres gases de efecto invernadero GEI.....	42
Tabla 7. Factores de emisión de GEI para Ganadería: proceso digestivo ganado vacuno	46
Tabla 8. Factores de emisión de GEI para Ganadería: manejo del estiércol.....	47
Tabla 9. Factores de pastoreo y confinamiento por tipo de ganado	49

Tabla 10. Sistema de gestión de estiércol y su factor para confinamiento por tipo de ganado.....	53
Tabla 11. Factores de emisión de GEI para Combustibles	58
Tabla 12. Factores de emisión de sector electricidad	59
Tabla 13. Caracterización de ganado	60
Tabla 14. Emisión de CH ₄ fermentación entérica en ganado	62
Tabla 15. Emisión CH ₄ producción de excretas / gestión de estiércol de ganado en CO ₂ eq (ton)	63
Tabla 16. Emisiones directas de N ₂ O por pastoreo y confinamiento en CO ₂ eq (ton)	64
Tabla 18. Emisiones indirectas de N ₂ O por pastoreo y confinamiento en CO ₂ eq (ton)	65
Tabla 20. Emisiones de N ₂ O de suelos gestionado en CO ₂ eq (ton).....	66
Tabla 21. Emisiones por combustibles en el sistema de producción.....	67
Tabla 22. Emisiones por aguas residuales	70
Tabla 23. Emisiones totales en Ton CO₂ eq	70
Tabla 24. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Registros y genética.....	79
Tabla 25. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Excretas como dieta, fertilizante y fermentación	80
Tabla 26. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Sumidero rentable.....	82

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
COP	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
EF	Factor de emisión
EM	Emisiones
Fonafifo	Fondo de Financiamiento Forestal
GET	Gases de efecto invernadero
GLEAM	Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial
Gt	Gigatoneladas

IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
PCG	Potencial de Calentamiento Global
POME	Efluente de la planta extractora de aceite de palma
T o ton	Tonelada
TEC	Tecnológico de Costa Rica
SIG	Sistema de Información geográfica

RESUMEN

Se realiza un caso de estudio para cuantificar las emisiones de GEI que presenta el sistema de producción de leche bovino “San José” ubicado en el cantón de San Ramón, Alajuela, en dos fincas en los distritos de Santiago y Volio (Alto Villegas) respectivamente, pertenecientes a la agricultura familiar con una existencia de alrededor de 70 años, con los objetivos de producción lechera y cría de hembras para reemplazo o venta.

La revisión de normas e investigaciones relacionadas fue clave para comprender las lista de fuentes a cuantificar, para ello fue necesario crear registros, información espacial con SIG, ente otras, para poder definir la relación de kg CO₂e /kg leche corregida en grasa y proteína (FPCM por sus siglas en inglés Fat and Protein Corrected Milk), (Quirós, 2015). con 193,4312279 tCO₂eq durante el 2021 y 287 122,32 kg de producción anual corregida por grasa y proteína, el indicador resultó ser mucho más bajo que los anteriores estudios y los promedios para la región, con **0,81** kg CO₂e/kg leche FPCM, lo que describe que la organización tiene menores emisiones que otros sistemas en el año en estudio, un dato de relevancia es que la emisión por fermentación entérica asume el 80% y la gestión del estiércol alrededor del 15%.

Producir de manera sostenible implica que el desarrollo del negocio debe contener viabilidad como factibilidad, a su vez que contenga la capacidad de reducir las emisiones de GEI impidiendo la deforestación, impulsando la ganadería baja en emisiones, re-carbonizando los suelos; entre ellas se encontraron acciones que reducen emisiones presentes en el sistema de análisis que se registraron con su debida justificación teórica, al mismo tiempo también se citaron propuestas para disminuir GEI: Propuestas de acciones de disminución y prevención de GEI para producción responsable y sostenible:

- Excretas como dieta, fertilizante y fermentación
- Registros y genética.
- Sumidero rentable

Palabras clave: Ganadería, leche, sostenible, emisiones, cambio climático

ABSTRACT

A case study is carried out to quantify the greenhouse gas emissions presented by the "San José" bovine milk production system located in the canton of San Ramón, Alajuela, in two farms in the districts of Santiago and Volio (Alto Villegas) respectively, belonging to family agriculture with an existence of about 70 years, with the objectives of milk production and breeding of females for replacement or sale.

The review of standards and related research was key to understand the list of sources to quantify, for this it was necessary to create records, spatial information with geographic information system among others, in order to define the ratio of kg CO₂e /kg FPCM (Fat and Protein Corrected Milk), with 193.4312279 tCO₂eq during 2021 and 287 122.32 kg of annual production corrected by fat and protein, the indicator turned out to be much lower than the previous studies and the averages for the region, with 0.81 kg CO₂e/kg FPCM milk, which describes that the organization has lower emissions than other systems in the year under study, a relevant fact is that the emission from enteric fermentation accounts for 80% and manure management about 15%.

Producing in a sustainable manner implies that the development of the business must contain viability as feasibility, as well as the ability to reduce GHG emissions by preventing deforestation, promoting low emission livestock farming, re-carbonizing soils; among them, actions were found that reduce emissions present in the system of analysis that were recorded with their due theoretical justification, at the same time proposals to reduce GHG were also cited: Proposals for actions to reduce and prevent GHG for responsible and sustainable production:

- Excreta as diet, fertilizer and fermentation.
- Records and genetics.
- Profitable carbon sink

Key words: Livestock, dairy, sustainable, emissions, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Es fácil presentar una imagen dramática del mundo actual, el cambio climático configura situaciones que amenazan la vida del planeta como se ha conocido, pone en riesgo los recursos comunes del mundo: la atmósfera, los océanos, los polos y la biodiversidad. Bajo un contexto así de complejo se busca culpables, pero paralelamente los problemas persisten y se agravan, entre ellos la intensificación de la pobreza en las familias rurales. (Bárcena et al, 2020)

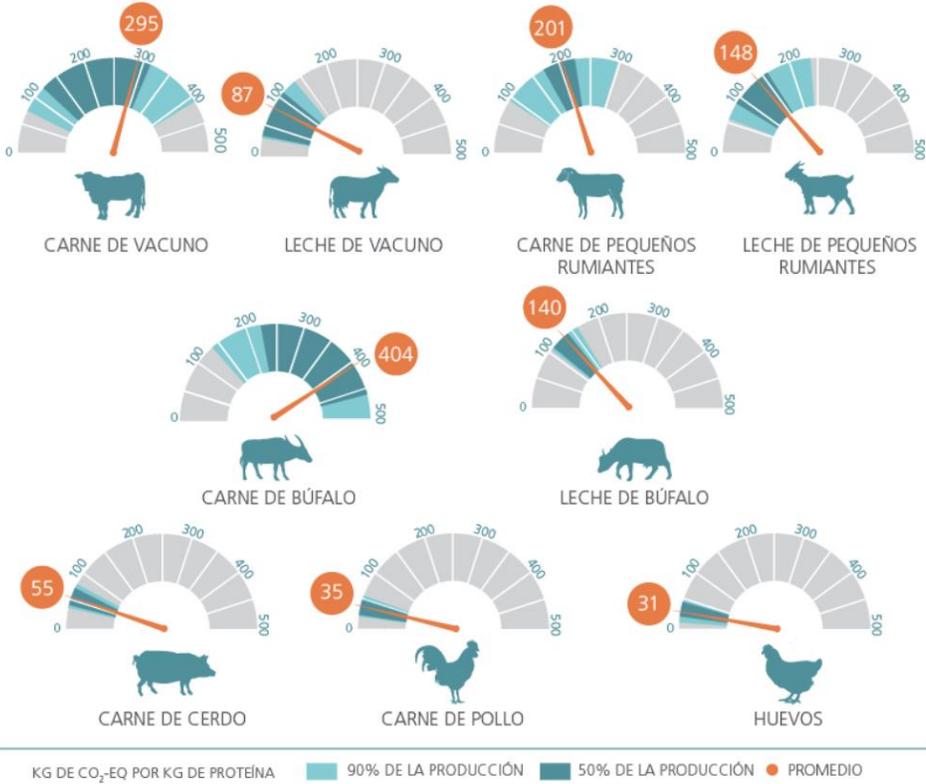
Se puede asumir que el cambio climático aumenta la desigualdad en dos pasos: primero, por su incidencia en el crecimiento del sector agrícola y segundo, por la incidencia en la evolución de la pobreza (Thurlow, Zhu Y Diao, 2009; Christiaensen, Demery y Kuhl, 2011; Christiaensen Y Demery, 2007) (citado por Barcena et al, 2020).

En consecuencia, si la producción es afectada como consecuencia de los impactos del cambio climático a lo largo del siglo XXI el crecimiento económico se reducirá y la seguridad alimentaria se verá indiscriminadamente afectada en la calidad y cantidad de alimentos (Field et al, 2014).

Con ese panorama, se recuerda que el fin de la actividad ganadera es el aprovisionamiento de productos alimenticios de origen animal para las personas, principalmente realizando aporte proteico a sus dietas, ya que representa un gran aporte de proteínas de valor biológicos, así como nutrientes como el calcio o el fósforo, según la Fundación Española de Nutrición una dieta con suficiente cantidad de lácteos proporciona hasta el 33% de las necesidades de proteínas diarias. (Escalante, 9 de marzo de 2021)

En el país, la producción de leche de vaca tiene un gran peso sobre las actividades pecuarias, superando carne, huevo, porcicultura; en 2019 alcanzó una participación del 75,7% de la producción total de actividades agropecuarias. (SEPSA, 2021 citado por Calvo, 2021)

Una forma de comparar diferentes productos de origen animal es con la cantidad de emisiones que se producen por kilogramo de proteína como se permite visualizar en la figura adjunta.



Intensidad de emisiones globales por producto. La producción se expresa en contenido proteico. El promedio se calcula a escala global y representa el valor agregado de los diferentes sistemas de producción y zonas agroecológicas.

Figura 1. Intensidad de emisiones de kg de CO₂ eq por kg de proteína en diferentes tipos de ganado

Fuente: FAO, 20 de agosto 2021

La diferencia que presenta la leche vacuna es evidente frente a la carne de la misma especie, pero además se identifica como la leche de origen animal de menores emisiones por kg de proteína.

Más adelante se detallará una fórmula para valorar las emisiones kg de CO₂ eq por kg de leche que permite visualizar el costo en emisiones por la producción de un alimento de origen animal como la leche vacuna que se abordará en este estudio.

La producción y el consumo deben estar guiados por la responsabilidad en primera instancia de la gestión de recursos naturales, efectos ambientales y más relacionados, logrando sostenibilidad, como lo especifica el ODS 12 “Producción y Consumo responsable y sostenible” (UN, 5 de octubre del 2022).

Es sabido desde hace varios años que las cadenas de suministro de productos alimenticios para consumo humano que son de origen animal, como leche, huevos, carne contribuyen significativamente al cambio climático, sin embargo, también se debe unir a la discusión que la reducción significativa de emisiones no es solo posible sino factible, y que además son esas industrias las que también tienen una existente capacidad para ubicar sumideros de carbono y realizar remociones de GEI (Gerber et al, 2013)

Según datos de FAO “se estima que las cadenas de producción ganadera emitieron globalmente un total de 8,1 gigatoneladas de CO₂eq en 2010” (FAO, 15 de agosto del 2021, párr. 3) sin embargo dicho calculo se realizó con el PCG de 34 para metano y en la actualidad como en el resto del documento se utiliza el PCG del metano de 21, lo que disminuye significativamente las emisiones ya que el metano representa un 50% del total de emisiones en esta producción y el óxido nitroso entre un 34% a un 26%.

En la producción ganadera, la carne y la leche de ganado vacuno son dos de los productos de las mayores emisiones: 3,0 y 1,6 gigatoneladas de CO₂-eq, respectivamente, posterior se ubica la carne de cerdo (0,82 gigatoneladas de CO₂-eq), la carne y huevos de pollos (0,79 gigatoneladas de CO₂-eq), la carne y leche de búfalo (0,7 gigatoneladas de CO₂-eq), y la carne y leche de pequeños rumiantes (0,5 gigatoneladas de CO₂-eq).

Así mismo como se calcula emisiones también se debe considerar la mitigación de la producción, la herramienta de Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM) de la FAO calcula una estimación del potencial de mitigación en todas las cadenas de producción de un 33%, unas 2,5 gigatoneladas de CO₂ eq, respecto al escenario basal para todas las cadenas, este cálculo se basa en asumir que los productores de un sistema, región y zona agroecológica concretos aplican

las prácticas del 10% de los productores con la menor intensidad de emisiones, manteniendo constante la producción (FAO, 15 de agosto del 2021). En caso específico el ganado vacuno, de 4,637 millones de toneladas de CO₂ eq tiene la capacidad para mitigar 1,736 CO₂ eq, lo que significaría el 37% bajo las condiciones anteriormente descritas.

En el vínculo territorio-ambiente, el sector pecuario es el mayor usuario y administrador del recurso tierra del planeta, por ende, también tiene responsabilidad sobre la conservación y captura de carbono de diferentes maneras; incluso la ganadería ha demostrado alcanzar la carbono neutralidad en Costa Rica en varios ejemplos de fincas ganaderas con investigaciones entre el MAG, CATIE, INTA además de otros estudios que se citarán más adelante en la investigación.

“En Brasil, con las tecnologías de recuperación de pastizales y adopción de sistemas integrados de producción, la actividad agropecuaria se torna un sumidero de carbono, sobre todo gracias a la incorporación de carbono en el suelo en los sistemas integrados, el potencial de fijación de carbono es de 10,7 millones de t CO₂ eq y, en los pastizales recuperados, de más de 123,0 millones de t CO₂ eq, a los efectos comparativos, este secuestro de carbono equivaldría a aproximadamente 1,5 veces las emisiones totales corrientes del Ecuador”
(Barcena et al, 2020, p.328)

El secuestro de GEI es un papel esencial en el sector agropecuario, sin embargo la necesidad para afrontar la crisis climática se basa en disminuir las emisiones, no sólo de compensarlas, en el presente caso, al ser una actividad de importancia para el aporte alimenticio a las personas es vital generar responsabilidad en el sector de manera viable y factible, que ello afecte lo menos posible la producción, y por ende a las personas productoras, que además presentan múltiples retos de carácter climáticos, económicos y sociales.

1.2. Problema de investigación y su importancia

El conocimiento detallado sobre el cambio climático y la ganadería es imprescindible para evitar simplificaciones excesivas con respecto a una producción sostenible y

responsable de alimentos, relacionada además con al crecimiento económico y la reducción de la pobreza. (Gerber et al, 2013)

La ganadería entretanto se debe hacer responsable de su gran capacidad de emisiones como de remociones GEI, al mismo tiempo, la ganadería no se escapa de los retos que enfrenta el sector agropecuario con los efectos del cambio climático, aunado a los desafíos proveer alimentos que contengan alto grado de sostenibilidad y responsabilidad, y de competitividad como cualquier sector.

Aunque el sector pueda lograr remociones, el verdadero problema gira alrededor de las emisiones, y son la gran cantidad de ellas las que han empujado a un latente cambio climático.

Costa Rica ha logrado ser autosostenible en la producción de leche con 1,154 millones de litros de leche al año, ello significa empleo directo e indirecto a 46 mil personas, e incluso la demanda interna anual sigue creciendo, en el 2014 estaba en 202 litros por persona, para el 2017, se ubicaba en 217 litros (Barquero, 28 de junio, 2018) y en 2020 se citó que el consumo figuraba en 222 litros de leche equivalente por persona al año, siendo el mínimo 150 litros según FAO, citado por Valverde (2 de junio de 2020).

Surge la necesidad de valorar si dentro de las emisiones se pueden hacer valoraciones para su reducción que siga permitiendo la producción sostenible y responsable con los recursos naturales sumando múltiples beneficios ecosistémicos y productivos, para ello el ejercicio de cuantificación de emisiones para valorar su participación por kg de leche producida es valioso, pero más aún reconocer acciones para disminuir GEI que potencialice sus fortalezas y le prepare para los retos que enfrente el sector, considerando su importante papel en la producción de alimentos.

El problema de la presente investigación consiste en identificar: **¿Cómo disminuir emisiones GEI del sistema de producción en estudio para una producción sostenible?**

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estimar emisiones GEI del sistema de producción bovina lechera “San José” con base a investigaciones previas con el fin de disminuirlas.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar las fuentes de emisión GEI en el sistema de producción en estudio.
2. Calcular las emisiones GEI identificadas de acuerdo con kg CO₂e por kg de leche producida en el sistema.
3. Determinar acciones de disminución de GEI en las actividades del sistema de producción en estudio que se hayan encontradas y proponer nuevas.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEI, cambio climático y huella de carbono

Los GEI son gases que absorbe y emiten radiación en el espectro térmico infrarrojo (calor), proceso que causa fundamentalmente el efecto invernadero.

Los principales GEI en la atmósfera terrestre son:

- el vapor de agua (H₂O)
- el dióxido de carbono (CO₂)
- el metano (CH₄)
- el óxido nitroso (N₂O)
- el ozono (O₃)

(Gerber et al, 2013)

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) los GEI son aquellos que retienen el calor de la atmosfera del planeta bajo la acción de efecto invernadero para permitir temperaturas de den pie a la vida en el planeta, sin embargo, su calentamiento aumenta por la gran cantidad de GEI que se emiten, principalmente por acciones de orden antropogénicas (OMN, 05 de mayo de 2022).

Las emisiones alteran los patrones climáticos hasta exceder los rangos de variabilidad sostenible de la temperatura y precipitaciones, la composición de la atmósfera se modifica, lo que amenaza a todos los seres vivos que habitan la tierra y el mar. (Bárcena et al, 2020).

Así mismo, se reconoce que los efectos de estos fenómenos son multidimensionales y afectan en aspectos de la vida humana como de la naturaleza con inundaciones, escasez de alimentos, hambrunas entre otros problemas estructurales a los cuales las sociedades modernas enfrentan (ONU, 10 de agosto, 2022).

Básicamente el cambio climático se manifiesta con:

- el aumento de la temperatura media mundial
- la modificación de los patrones de precipitación

- el alza continua del nivel del mar
- la reducción de la criósfera (menos presencia de nieve y hielo que disminuyen las reservas de agua y que acelera la retención de calor en la Tierra)
- la acentuación de los patrones de fenómenos climáticos extremos (Bárcena et al, 2020)

La realidad y la evidencia sobre el calentamiento global es inequívoca. De las principales causas se encuentra la emisión GEI producidas por actividades humanas entre las que destacan la quema de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo. (Bárcena et al, 2020)

No se puede afirmar que cuando se habla de los efectos del cambio del clima sea de orden negativo, lo cierto es que sus efectos no son uniformes ni entre países ni entre sectores, incluso cabe la posibilidad de que algunos países o regiones puedan verse beneficiadas en un inicio; sin embargo, si el calentamiento global continua más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa. (Bárcena et al, 2020)

Según el *Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C* “se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C, por lo que es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual” (IPCC, 2019, p. 6).

Si el calentamiento se limita a 1,5 °C en lugar de 2 °C, se calcula que serán menores las reducciones netas del rendimiento del maíz, el arroz y el trigo, y posiblemente de otros cereales. Bajo esa situación, se prevé que “el ganado se vea afectado negativamente por el aumento de las temperaturas, según sea la magnitud de los cambios en la calidad de los piensos, la propagación de enfermedades y la disponibilidad de recursos hídricos” (IPCC, 2019, p. 11).

Para hacer frente a la situación climática existen diferentes acuerdos globales, uno de los más actuales y reconocidos es el Acuerdo de París, que se realizó en la

COP21 celebrada en París, Francia 2015, este concluyó con la adopción de la decisión y Acuerdo que lleva el nombre del lugar, y entró en vigor 5 años después, en 2020. El Acuerdo pretende mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C, aumentando la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promoviendo la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de carbono de un modo que no comprometa la producción de alimentos, así mismo reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (CEPAL, 2022).

Para la COP26 en 2021, las acciones que se acordaron en temas relacionados al sector agropecuario con especial atención a las emisiones por metano, 103 países se comprometen a reducir en la presente década un 30% sus emisiones de metano, gas que es responsable del 24% del calentamiento global. (De Miguel y Planelles, 02 de noviembre de 2021)

Para 2010, se identificó 29% del total de emisiones de metano a la fermentación entérica que causan los rumiantes como un proceso fisiológico, para gestión del estiércol o producción de excretas animales un 4%, pero a diferencia en este último rubro hay oportunidades de mejora con gestiones como lagunas anaeróbicas que recolectan y transmiten biogás e incluso los propios biodigestores, y cada tipo de manejo tiene emisiones distintas.

El metano es un hidrocarburo, principal componente del gas natural, potente y abundante GEI en especialmente en un corto plazo de 10 a 15 años. Es emitido durante la producción y transporte de carbón, gas natural, petróleo, ganadería y otras prácticas agrícolas y de la descomposición del desperdicio orgánico en los vertederos de residuos sólidos municipales y de ciertos sistemas de tratamiento de aguas de desecho. El metano es emitido en la atmósfera en cantidades más pequeñas que el carbono, pero su potencial para el calentamiento global, que significa la capacidad del gas para atrapar el calor en la atmósfera es 21 veces mayor. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 10 de agosto de 2022)

El objetivo de cuantificar la huella de carbono es aplicar un protocolo de estimación y contabilidad de los GEI, que incluyen el metano entre otros, que produce una organización o producto.

La huella de carbono se refiere a la cantidad total de emisiones de GEI asociada a un producto a lo largo de las cadenas de suministro de este; se expresa generalmente en kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq.) por unidad de producto. (Gerber et al, 2013)

“En esencia, un producto o servicio con una huella de carbono cero es aquel que tiene un impacto cero en el clima. Adicionalmente, todas aquellas emisiones que no puedan ser reducidas en su fuente, deben ser compensadas por medio de proyectos forestales o mediante la compra de certificados de carbono de alguna índole, de tal manera que el balance final llegue a ser cero.” (MINAE, 2009, p.81)

2.2. Cambio climático en América Latina

Si el cambio climático no se manifiesta de manera gradual y se cruza con umbrales que den paso a cambios abruptos, la adaptación será insuficiente. Para la región de Latino América y el Caribe, las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) del Acuerdo de Paris y los ODS son puntos de referencia claros para aprovechar la oportunidad de avanzar en los retos de sostenibilidad del desarrollo nacional y local, al mismo tiempo que se contribuye a la mitigación de la emergencia climática. (Bárcena et al, 2020)

América Latina y el Caribe se encuentra geográficamente entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, zona planetaria de mayor productividad natural como por su población rural con alta dependencia de los servicios ecosistémicos (Bárcena et al, 2020).

La afectación producto del cambio climático es una realidad para la región, pero también se debe reconocer su pobre participación en la contribución mundial, con un apenas un 17% como se aprecia en la imagen adjunta.

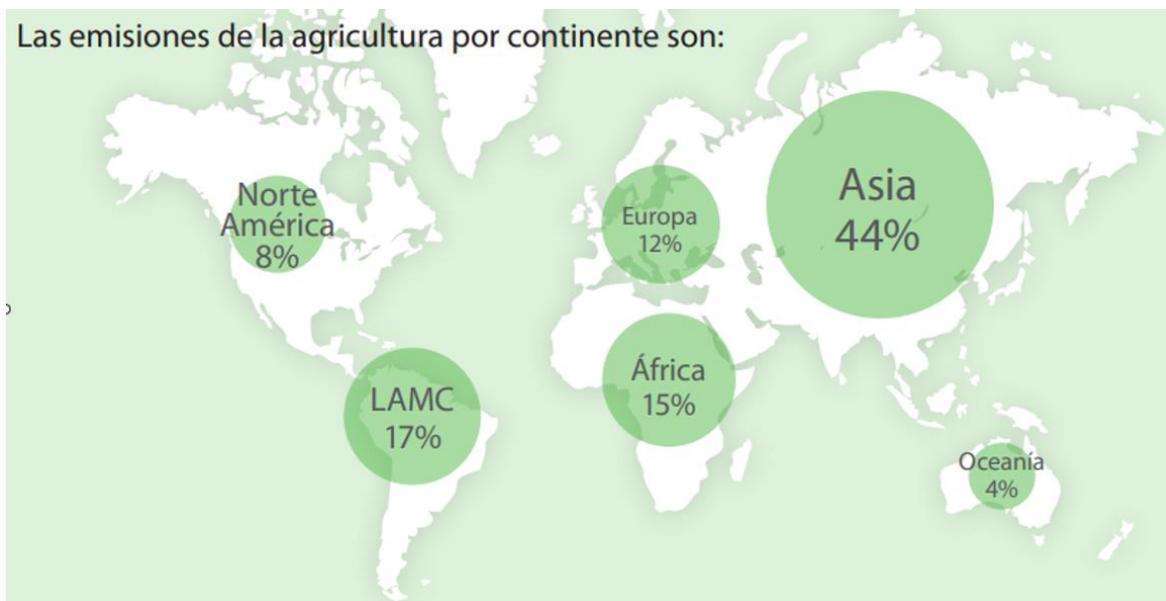


Figura 2. Emisiones de la agricultura (2001-2010)

Fuente: FAO, 2014

La emisión por fuentes provenientes de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra en esta región es de 2,8 Gt de CO₂-eq en el 2010 de ello sus fuentes de emisión originadas son casi la mitad por el cambio de uso del suelo, el sector energético participó con el 28% y la agricultura con el 20%. (FAO, 2014)

También se debe reconocer que la región es un depósito natural de carbono, lo que significa que absorbe el carbono de la atmósfera y reduce el dióxido de carbono en el aire, ya que se calcula que posee entre 18% y 26% del total mundial de carbono de los ecosistemas boscosos, 11% del contenido en los pastizales y 17% del correspondiente a los ecosistemas agrícolas. La absorción total por los sumideros de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra se cuantificó 0,44 Gt de CO₂ eq en el año 2010. (FAO, 2014)

2.3. Cambio climático en Costa Rica

Para hablar de Costa Rica y cambio climático hay que reconocer en primera instancia los avances que se ha realizado en mitigación y adaptación al cambio climático, incluso que el país se reconoce por ser un modelo en el mundo por su relación armoniosa con la naturaleza. Un ejemplo ha sido el esfuerzo de décadas

por alcanzar que la red eléctrica nacional sea en más del 95% producida de manera limpia y el único país de la región latinoamericana que ha logrado revertir deforestación, con una cobertura forestal que ha aumentado desde 1997, en 2005 superaba el 50% y al 2013 alcanza el 52.4% del territorio nacional (Canet, 2015).

En 2012 se creó el Programa País “Carbono Neutralidad” el cual es un mecanismo diseñado por el MINAE para su implementación voluntaria, dirigido a las organizaciones, comunidades y fabricantes de productos, incluido el sector de agricultura y ganadería; este facilita a las organizaciones una metodología estandarizada para medir sus inventarios de carbono, demostrar reducciones de emisiones y alcanzar una neutralidad de carbono verificable, esto por los entes certificadores correspondientes, a la fecha el ente con esa potestad es INTECO. (MINAE, s.f)

En febrero 2019 el país se destacó en unos de los primeros países del mundo en adoptar un Plan Nacional de Descarbonización que será la hoja de ruta para modernizar la economía hasta el 2050. Michelle Bachelet, Alta Comisionada de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos y ex presidenta de Chile se refirió comentando que: *“El lanzamiento de este plan nacional convierte a Costa Rica en uno de los primeros países del mundo en impulsar una iniciativa de esta magnitud, sabemos que será un ejemplo que seguir para todos los países”* (Soto, 24 de febrero de 2019, párrafo 20).

Como parte del ejemplo asumido por Costa Rica en el mundo por su lucha contra el cambio climático, se debe reconocer que las tareas en el sector agropecuario han sido múltiples desde hace varios años entre instrumentos, políticas y programas que puede apreciar en la figura adjunta.

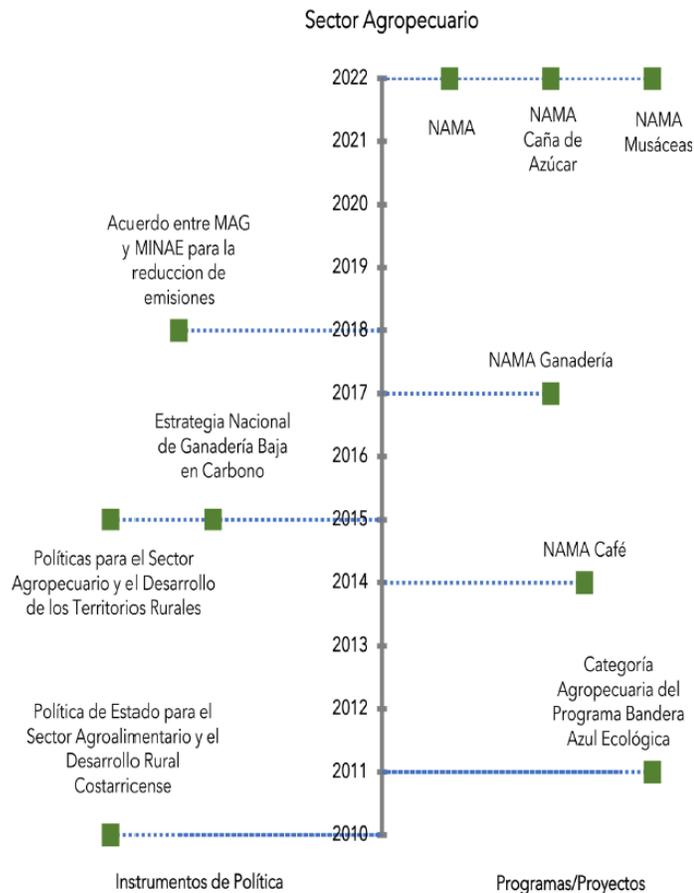


Figura 4.23. Acciones de mitigación desarrolladas en el sector agropecuario.

Figura 3. Acciones de mitigación desarrolladas en el sector agropecuario.

Fuente: MINAE, 2021, p.203

Pese a los esfuerzos en el sector agricultura y pesca, también se debe reconocer su vulnerabilidad en varios sentidos y uno de ello es que los diagnósticos de afectaciones, se afirma:

1. Afectaciones en la producción de alimentos
2. Riegos en la disponibilidad de productos alimenticios básicos
3. Repercusiones en la seguridad alimentaria del país

(MINAE, 2021)

Se debe reconocer cuales son factores que determinan vulnerabilidad al cambio climático en el sector agropecuario:

- Bajos niveles de escolaridad de la fuerza laboral en el campo.
- Alta informalidad del trabajo en zonas rurales y costeras; muchas son mujeres.
- Personas trabajadoras del sector en condición de pobreza y habitando zonas de riesgo.
- Sector agropecuario tradicional de pequeños productores con baja productividad y dificultades para reducir pobreza rural.
- Limitada integración de la persona pequeña agroproductora y pescadora a las cadenas de valor.
- Infraestructura insuficiente.
- Alta dependencia de monocultivos.
- Sobrepesca y prácticas de pesca no sostenibles.
- Cultivos con requerimientos hídricos elevados y dependencia de sistemas de riego.
- Fincas ganaderas muy dependientes del recurso hídrico.
- Acceso limitado a financiamiento.
- Falta de enfoque preventivo y de gestión de riesgo del sector agropecuario y pesca.
- Falta de ordenamiento territorial con visión de largo plazo.

(MINAE-MIDEPLAN-PNUMA, 2020), (OECD, 2017 citado por MINAE, 2021, p.149)

Aunado a ello, el sector también presenta una alta vulnerabilidad al cambio climático, por su dependencia de los recursos naturales. La intensidad y frecuencia de las lluvias pueden causar inundaciones que desencadenan pérdidas en los sistemas agro-productivos y pesqueros. Entre 1988 y 2019 el sector registró 5.994 afectaciones por fenómenos naturales, el 98,8% fue por eventos hidrometeorológicos (PEN, 2020b citado por MINAE, 2021).

Entre 1988 y 2015, las pérdidas en este sector se estimaron en US \$460 millones por daños por aumento de lluvias, de igual manera ha sido afectado por sequías,

una realidad actual es que el impacto que tuvo el COVID-19 en 2020, con 28.000 millones de colones en pérdidas (PEN, 2020b citado por MINAE, 2021).

Las amenazas derivadas del calentamiento global sobre el sector agropecuario y pesca incluyen sequías, temperaturas y lluvias extremas, huracanes y tormentas tropicales, aumento gradual de la temperatura, pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y bosques, acidificación oceánica, aumento en el nivel del mar e intrusión salina (RARE-Green LAC, 2021), (MINAE-MIDEPLANPNUMA, 2020), (MINAE-MAG, 2015), (SEPSA, 2015b) citado por MINAE (2021)

Las emisiones de Costa Rica de 1900 a 2017 indican una caída en su cantidad total, pero el comportamiento de cada sector es particular, se puede apreciar en la figura 4. (MINAE, 2021)

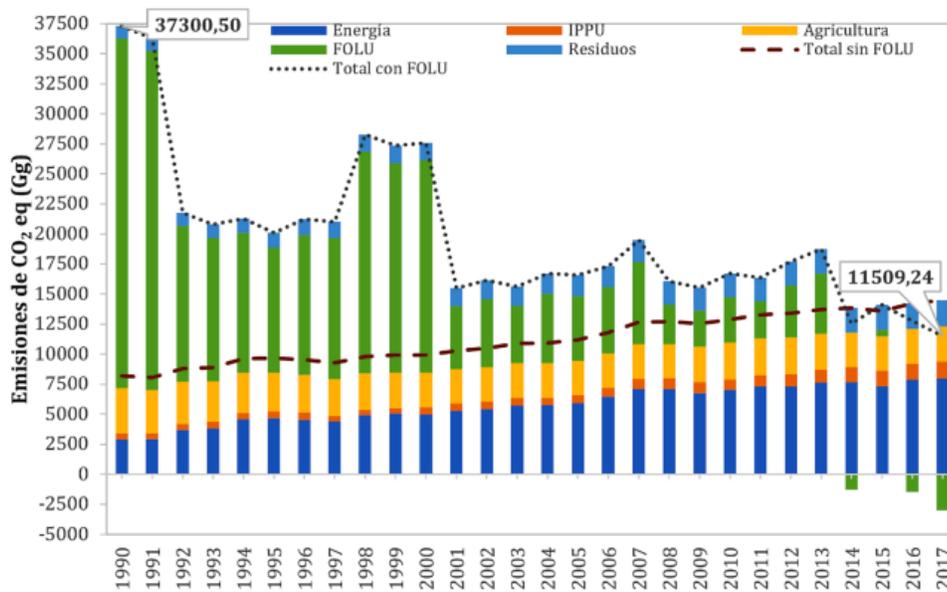


Figura 2.8 Tendencia de las emisiones totales de Costa Rica entre 1990-2017 por sector.

Figura 4. Tendencias de las emisiones totales de Costa Rica entre 1990-2017 por sector.

Fuente: MINAE, 2021

Mientras que sectores como energía crecen en emisiones, el sector agricultura logro disminuir antes del 2000, posterior alcanzó una estabilización como se puede apreciar en la figura adjunta.

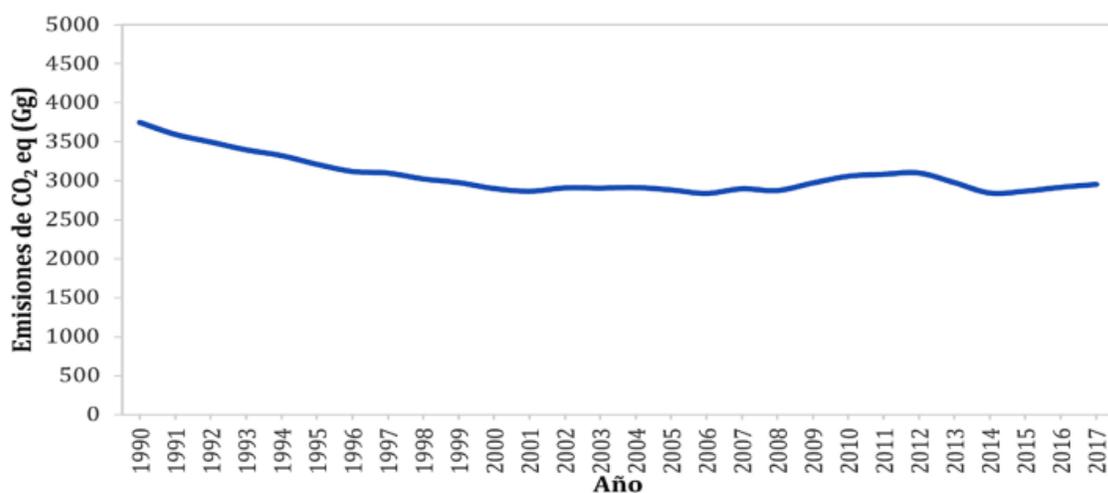


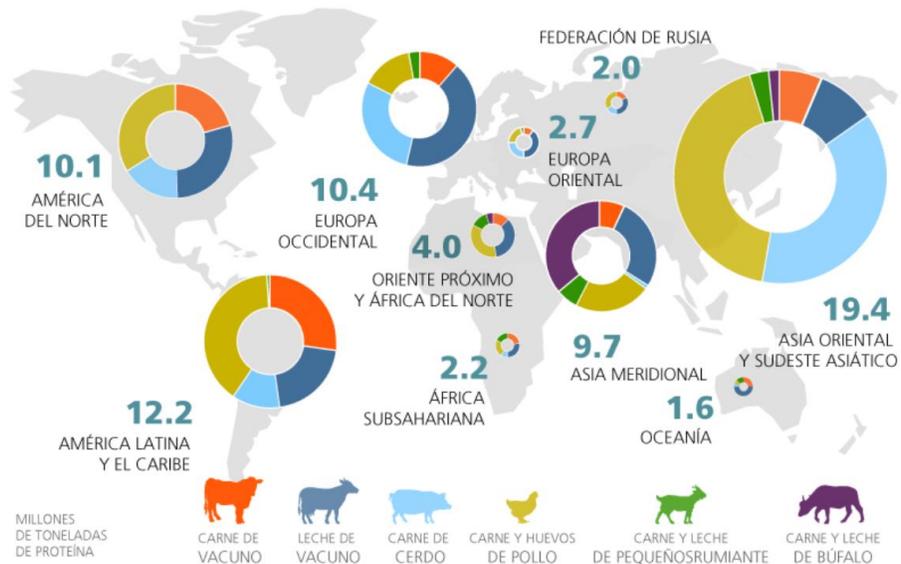
Figura 5. Emisiones del sector agricultura entre 1990-2017, Costa Rica.

Fuente: MINAE, 2021

La emisión total del sector agropecuario en unidades de CO₂ eq, se redujo desde 1990 y hasta 2005, año a partir del cual ha mostrado estabilidad con leves fluctuaciones, variaciones en las áreas cultivadas, y cambios en la población de las diferentes especies de animales. (MINAE, 2021)

2.4. Actividad ganadera y cambio climático

La herramienta GLEAM de la FAO expresa en la siguiente figura 6 la producción ganadera en base a la producción de proteína con distintos productos de origen animal, de manera que la producción de leche se expresa en términos estandarizados respecto a los contenidos de grasa y proteína.



Regional production. Producción total regional y perfiles de producción. La producción de carne es expresada en contenido proteico usando ratios específicos de peso vivo a carcasa, contenido óseo y contenido proteico promedio. La producción de leche se expresa en términos estandarizados respecto a los contenidos de grasa y proteínas. La producción de huevos se expresa también en contenido proteico.

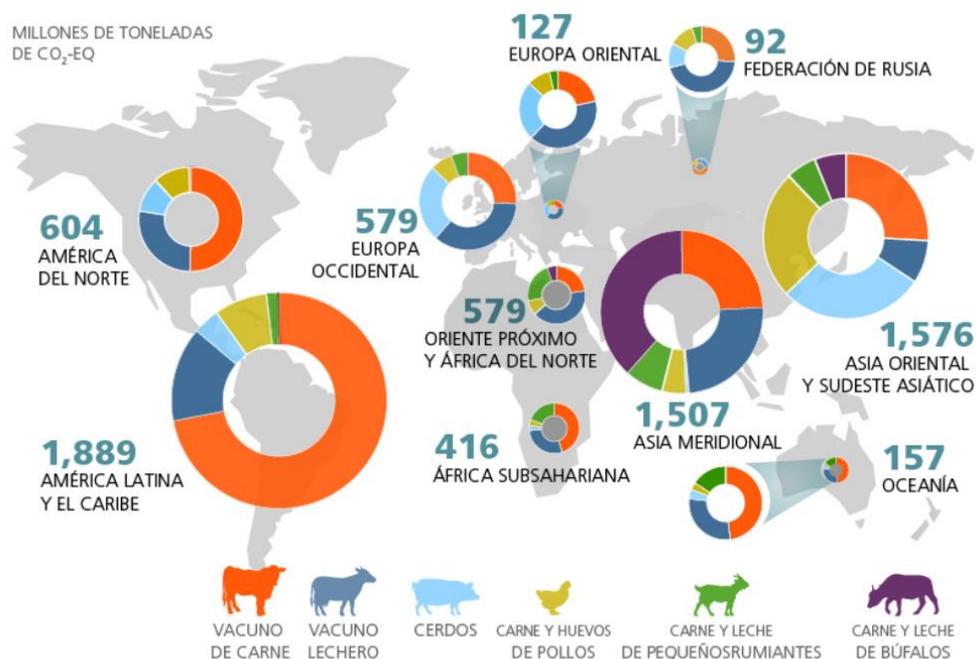
Figura 6. Producción total regional en base a la producción de proteína por tipo de ganado, en millones de toneladas de proteína.

Fuente: FAO, 20 de agosto 2021

Asia oriental y el Sudeste Asiático, con 19 millones de toneladas de proteína, son las regiones con la producción más elevada, impulsada principalmente por especies monogástricas. La producción de carne y leche de búfala juega un papel destacado en Asia meridional, sin embargo, sólo Asia oriental tiene el segundo nivel más alto de emisiones, con más de 1,5Gg CO₂eq, seguida de Asia Meridional con 1,5 gigatoneladas de CO₂eq.

Europa occidental, América del Norte, y América Latina y el Caribe tienen niveles de producción similares, entre 10 y 12 millones de toneladas de proteína, sin embargo, con perfiles son distintos, por un lado, la carne y leche de vacuno y de pollo son claves en América Latina y América del Norte. Europa occidental debe su producción fundamentalmente a la leche de vacuno, pero es América Latina y el Caribe la que registró el nivel más alto de emisión, impulsada por la producción especializada de carne de vacuno, como se aprecia en la figura 6.

Oriente Próximo y África del Norte, el África subsahariana, Europa oriental, Oceanía y la Federación de Rusia tienen producciones menores, entre 4 y 1,6 millones de toneladas de proteína, pero donde la leche de vacuno se encuentra presente.



Emisiones regionales. Emisiones regionales totales y contribución relativa por especies. No se incluyen las emisiones asignadas a productos no comestibles y otros servicios.

Figura 7. Emisiones regionales totales y contribución relativa por especies de ganado.

Fuente: FAO, 20 de agosto 2021

Si se compara los gráficos de América Latina y Caribe de ambas figuras (6 y 7), se puede observar como gran cantidad de producción de carne y huevo de pollo se transforma en una pequeña parte de las emisiones, la producción de carne de cerdo aumenta levemente, la producción de leche vacuna se mantiene, pero la carne vacuna crece exponencialmente en el peso de las emisiones.

El ganado vacuno es el mayor emisor de GEI con alrededor de 5,0 gigatoneladas de CO₂ eq, que representan el 62% de todas las emisiones, la carne y la leche de ganado vacuno son los dos productos mayores emisiones: 3,0 y 1,6 gigatoneladas de CO₂ eq, respectivamente, posterior se ubica la carne de cerdo con 0,82 gigatoneladas de CO₂-eq, la carne y huevos de pollos con 0,79 gigatoneladas de

CO₂ eq, la carne y leche de búfalo con 0,7 gigatoneladas de CO₂ eq, con respecto a carne y leche de pequeños rumiantes 0,5 gigatoneladas de CO₂ eq. (FAO, 15 de agosto del 2021)

Las emisiones en 2017 para el sector fueron de 2.962,8 Gg de CO₂ eq (65,95 Gg de CO₂, 101,04 Gg de CH₄ y 2,50 Gg de N₂O), de ello la fermentación entérica representa un 62,3% de total de la categoría agricultura, por su parte la gestión del estiércol un 7%, con esos datos recientes se puede especificar que la ganadería tiene un peso significativo en emisiones en el panorama del sector y a nivel generalizado. (MINAE, 2021)

Aunque también se debe de apreciar que sus aumentos se han venido sosteniendo, en 2015 tuvo un aumento de 7,4% en fermentación entérica, pero al año siguiente ese aumento disminuyó significativamente; la gestión del estiércol ha logrado aumento mínimo e incluso la actividad de suelos, que también involucra ganadería ha disminuido, sin embargo, no se puede dejar de lado las vulnerabilidades y condiciones que sigue presentando el sector.

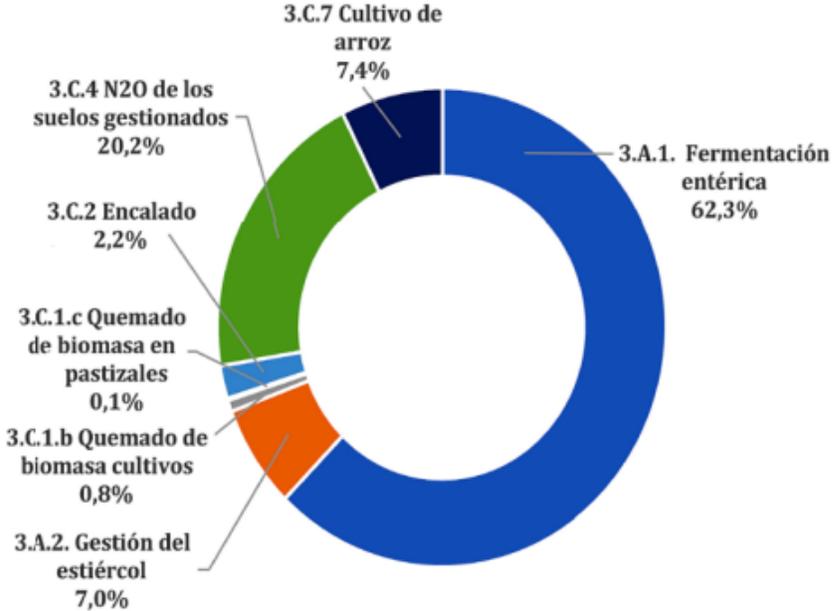


Figura 8. Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector agricultura, 2017.

Fuente: MINAE, 2021

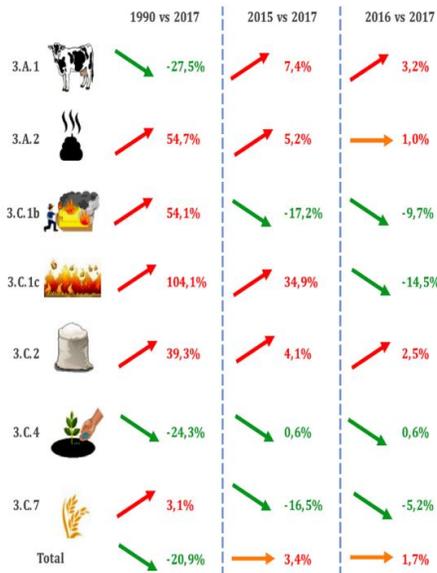


Figura 9. Tendencias de las emisiones del sector de 1990 a 2017.

Fuente: MINAE, 2021

En el país la producción ganadera se basa en el pastoreo, por lo que la emisión de metano en esta categoría se debe a la fermentación anaeróbica del alimento consumido, mayormente: pastos. (MINAE, 2021) y son los bovinos los principales responsables con millón y medio de cabezas. En 2017, la emisión de CH₄ proveniente de los bovinos totalizó 84,6 Gg (96,2 % de la categoría) con un máximo histórico en 1990 con 119,1 Gg. La emisión de metano por fermentación entérica estimado para el 2017, fue mayor para la actividad de carne bovina con una participación de 51,6 % de la categoría. (MINAE, 2021)

Para comparar información se buscó en los datos de FAO (Faostat) las emisiones por fermentación entérica, gestión del estiércol en general y sus depósitos de excretas producto del pastoreo y por aplicación al suelo, dentro de ello se puede apreciar en caída de sus emisiones desde 1961 (las más antiguas) hasta 2020 (datos más recientes).

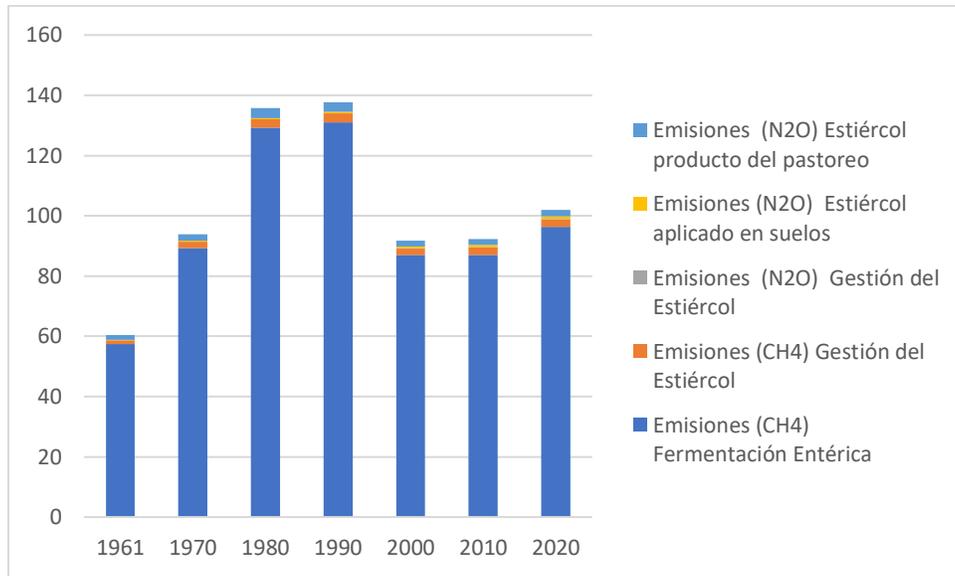


Figura 10. Emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol (general, aplicación a suelos y producto de pastoreo) de 7 décadas por tipo de gas, en kilotoneladas

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 20 de agosto 2022

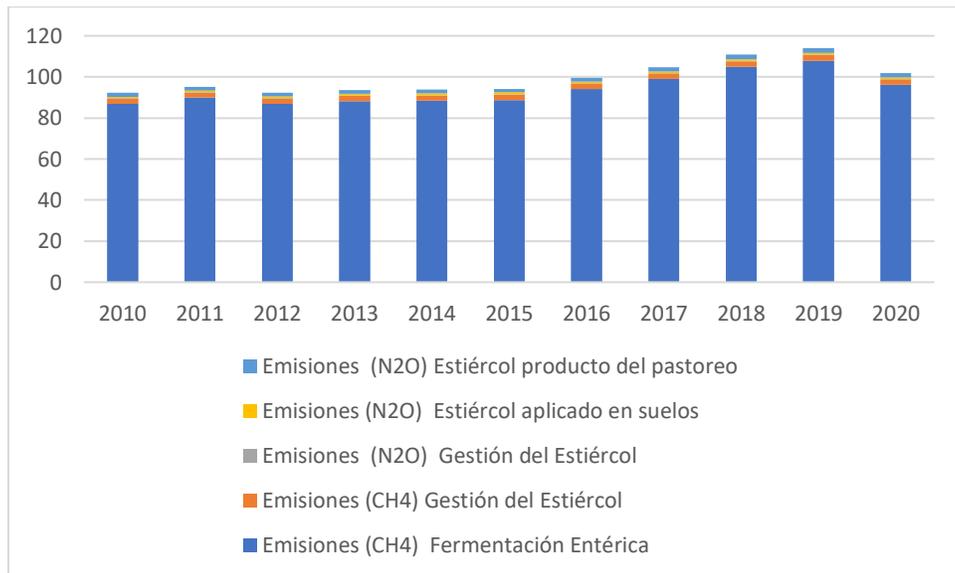


Figura 11. Emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol (general, aplicación a suelos y producto de pastoreo) del 2010 al 2020 por tipo de gas, en kilotoneladas

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 20 de agosto 2022

En ambas figuras se puede apreciar que la emisión de metano por fermentación entérica es mayoría entre los gases y sus tipos, haciendo el proceso de equivalencia al CO₂, y el PCG de CH₄ en 21 y N₂O en 310.

La ganadería costarricense lleva más de 500 años de desarrollarse, y es la principal fuente de empleo en el sector agropecuario, las personas ganaderas costarricense tiene alrededor de 1 100 000ha en pasturas con millones de kilómetros de árboles en cercas vivas y bajo protección, árboles dispersos en potreros, que en promedio llegan a contabilizar 17 millones de diferentes árboles, dato que también aporta el INTA en 2017, afirmando que la persona ganadera cuida y conserva alrededor del 18% de los bosques fuera de las áreas de protección, las principales zonas de recarga hídrica del país se encuentran resguardas por fincas ganaderas según el Sistema de Reconocimientos Ambientales (Chacón et al., 2015).

De acuerdo con datos del INEC, entre el Censo Agropecuario en 1984 y el de 2014 se pudo visibilizar que se ha disminuido en 37% el uso de suelo en pastos en paralelo que la producción de leche aumentó un 211%. El hato nacional es cercano a 1 550 000 animales en un área de pastos que no ha aumentado y más bien se reduce. (Barquero, 28 de junio, 2018)

La actividad cubre la extensión de una quinta parte del territorio nacional con 1,4 millones de hectáreas dedicadas a ganadería, gracias a la importante área de bosque secundario, árboles aislados y áreas de charrales en las fincas ganaderas secuestran casi el 70% del total del dióxido de carbono en el país (MAG, 2015).

En el territorio se contabilizan aproximadamente 37 171 fincas con 1,28 millones de cabezas de ganado extendiéndose desde la frontera de Nicaragua hasta con la frontera de Panamá de las cuales el 42% del hato ganadero es para la producción de carne y 26% para producción de leche. Así mismo mencionan que el ganado costarricense consume relativamente 1,04 millones de hectáreas de pastos, equivalente al 43% del terreno dedicado a la agricultura y 20% del área total. Más de 26 000 productores reportan la ganadería como actividad primaria generadora de ingresos y más de 37 000 productores tienen ganado en su finca (MAG, 2015).

Según el Capítulo 10 del IPCC sobre Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol las emisiones más significativas se asocian con operaciones de gestión de animales confinados, lo que se entendería como estabulados, en las que el estiércol se maneja por medio de sistemas basados en líquidos y no tienen horas de pastoreo. (2006)

La mayoría de las fincas lecheras del país son pequeñas y manejadas por sus mismos dueños (mano de obra de tipo familiar) por lo que la ganancia anual es el retorno al trabajo de la familia, misma razón que suele tratarse de fincas sostenibles (que perduran a lo largo de muchos años) deben producir una ganancia económica que cubra las necesidades familiares básicas (alimentación, educación, salud, entretenimiento, ahorro) por lo que las comunidades rurales se ven estrechamente relacionadas con los sistemas de producción de leche bovina o mejor conocidas como lecherías. (Pérez, 2017b)

Basado en sus importantes aportes, vulnerabilidades y también responsabilidades del sector, el Estado ha insistido en acciones como se aprecia en la figura 4, para noviembre 2015 se declara N° 39482-MAG de Interés Público la Estrategia para la Ganadería baja en Carbono en Costa Rica 2015-2034, esta estrategia marca una ruta en el camino a la necesaria sostenibilidad de esta actividad productiva de suma importancia en aspectos económicos como sociales para el país. para marzo 2020 recibió un Análisis de Avance de Implementación,

La actividad también obtuvo la creación de un importante programa de Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA, por las siglas en inglés Nationally Appropriate Mitigation Actions) para Ganadería.

NAMA Ganadería busca mejorar los ingresos y la calidad de vida de más de 27.000 productores ganaderos con sector más competitivo pero que a su vez garantice la mitigación de GEI y sume beneficios como la adaptación ante los efectos adversos del cambio climático para mejorar la gestión de riesgos. Su meta es: “Reducir 3 127 669 ton/CO₂eq, a través de la transformación del sector que cubrirá el 70% del hato y 60% del área ganadera en un periodo de 2017-2034” (p.191) y sus avances al

2020 fueron de 73.000 ton/CO₂eq reducidas y 1.400 fincas que implementan el modelo. (MINAE, 2021)

La emisión de GEI en manos de la ganadería tiene dos tipos importantes de fuentes identificadas: fermentación entérica y manejo del estiércol. La primera se refiere a características relacionada a los cuerpos de animales rumiantes y la segunda a la evacuación de excretas y su tratamiento.

Tabla 1. Emisión de metano (Gg CO₂-eq) por fermentación entérica y manejo del estiércol de ganado bovino en Costa Rica para el año 2010

Sistema de producción	Población (cabezas)	Emisión de metano (Gg* CO ₂ -eq)	
		Fermentación entérica**	Manejo del estiércol**
Leche	357.533,00	463,89	6,93
Carne	584.568,00	758,73	12,26
Doble propósito	565.006,00	697,41	11,87
Total	1.507.107,00	1920,03	31,35

*gigagramos=mil toneladas métricas, ** Calculado mediante las ecuaciones del IPCC 2006

Fuente: Chacón et al. (2015)

2.5. Sistema de producción responsable y sostenible de leche bovina

Un sistema lechero se basa en la cosecha manual o mecánica de leche de vacas. La leche se origina naturalmente en las vacas (síntesis de leche en la glándula mamaria) tras su primer embarazo y específicamente en cercanía a su primer parto, para ser utilizada como alimento para la cría en su etapa como lactante, como cualquier animal mamífero (Pérez, 2017b).

Las personas han empezado a estimular que las vacas tengan niveles mayores de producción de leche que la que producen para sus crías, debido a su alta demanda como un producto de consumo humano y sus derivados (lácteos). (Pérez, 2017b).

La reproducción exitosa es clave para el inicio y aumento de producción de leche, así mismo la incorporación de animales al sistema de producción, para ello se pueden adquirir con compras o bien, lo más común, es la crianza de hembras de

reemplazo, las cuáles dependiendo su raza pueden tardar de 1 a 2 años para conseguir su preñez (Pérez, 2017b).

Esta situación explica la preferencia por las hembras en este sistema productivo, ya que son las que dinamizan la actividad económica y los machos son los que se descarta través de ventas en su edad temprana, aunque en algunos casos los dejan criarse con la madre hasta alcanzar un peso para su venta, sin embargo esto se da mayoritariamente en casos de ganadería de tipo doble propósito, quiere decir que se dedican a cosecha de leche y carne; aunque la crianza de machos no exclusivo de este tipo de actividad ganadera, también se puede presentar en sistemas lecheros pero es una actividad que no suele tener alta factibilidad (Pérez, 2017b).

Como se aprecia en la ilustración, el sistema lechero o mejor conocido como lechería funciona de una manera cíclica, y puede incorporar una parte de la leche a la crianza de las hembras jóvenes para ser reemplazo, que posterior por algún medio de fecundación (inseminación artificial o natural por un toro) quedará en gestión por los 9 meses próximos y al acercarse el tiempo de su parto empezará a producir leche o lo que se le llama como “llenar ubre” ya que su ubre (órgano mamario) se abulta por la presencia de leche (Pérez, 2017b).

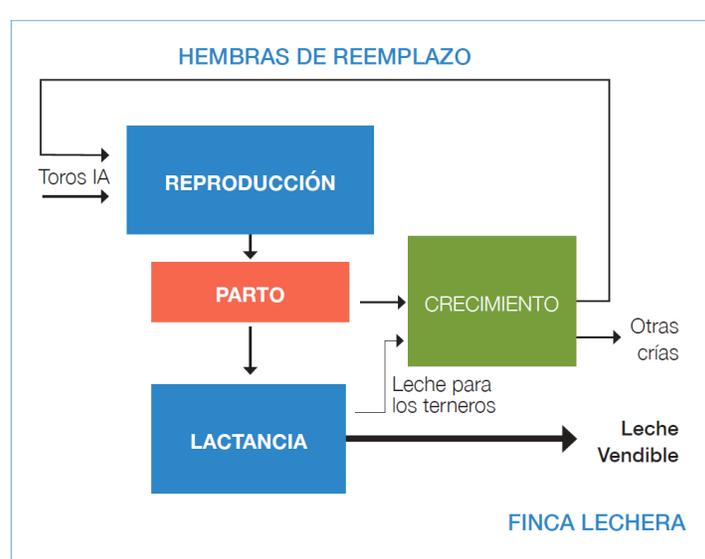


Figura 12. Flujo de participación de bovinos en finca lechera.

Fuente: (Pérez, 2017b)

El comportamiento reproductivo se monitorea con un método sencillo llamado: intervalo entre partos (IEP) y se refiere al número de días que transcurren entre un parto y otro, el ideal es de un año o 365 días; en casos de ser el primer parto puede ser de más días, la gestación tiene una duración entre 271 a 305 días, con una media de 283 días, es decir, 9 meses y 10 días en aproximado (Pérez, 2017a).

Además la persona productora debe asegurarse que cada vaca parida sea capaz de producir una lactancia prolongada, posterior de que la vaca presente mayor a 5 meses se considere que se debe reposar, términos usados como “soltarse y secarse”, que se refiere cuando se toma la decisión de realizar un tratamiento en su ubre para cesar la producción de leche y que el animal pueda descansar durante los últimos meses de su gestación hasta su parto y con ello vuelva a la lechería a su habitual ordeño (Pérez, 2017b).

Las fincas sostenibles (que perduran a lo largo de muchos años) deben producir una ganancia económica que cubra las necesidades familiares básicas, se trata de mejorar de sistema de producción sostenible, cuando se refiere a disminuir emisiones y crecer en producción asegurando alimentos a la población y eficiencia en la organización (Pérez, 2017b).

Producir de manera sostenible implica reducir las emisiones de GEI impidiendo la deforestación, impulsando la ganadería baja en emisiones, re-carbonizando los suelos y reduciendo la pérdida y el desperdicio de los alimentos. (CEPAL, 2021)

Uno de los temas más valiosos en la gestión de un sistema pecuario son las deyecciones de los animales, el bovino adulto evacúa de 10 a 15 veces por día, cubriendo 1 a 1.5 m², que sería alrededor de 20 a 30 kg por día, pudiendo elevarse hasta 45 kg (Pérez-Bravo et al., 2017). Ello no deja de ser una emisión GEI, pero puede tener un aprovechamiento de gran valor para la gestión de la finca en su proceso de gestión del estiércol.

Por su gran cantidad y porque en ausencia de gestión, dicho residuos pueden ser un contaminante de aire, agua y suelos, sin embargo, en métodos de recolección,

procesamiento y almacenamiento de excretas acumuladas son un gran recurso útil como fertilizante, entre otros usos.

Los suelos en la ganadería de leche representan gran potencial ya que los entes certificadores en el país aceptan el concepto de remoción de carbono en suelos. En el caso de los dos ejemplos de fincas certificadas y mencionadas en el documento el rubro más importante para alcanzar la carbono neutralidad fue la remoción en suelos, incluso presentaron un excedente de carbono removido, a lo que también cita el documento que, en caso de existir un mecanismo de comercio para estos créditos de carbono, el productor podría lucrar con estos, sin embargo, a abril del 2015, Costa Rica no tenía un método para ello. (Rodríguez , 2016)

Según el trabajo en la finca lechera comercial del CATIE, la fijación de carbono en la atmósfera por implementación de sistemas agroforestales contribuyen asombra a los animales en momentos de altas temperaturas para que disminuya su estrés calórico, aumenta el contenido de materia orgánica en el potrero contribuyendo a la conservación de suelos y aumento de la biodiversidad de la agroecosistema incluso puede generar la diversificación de fuentes de ingreso adicional con acciones forestales para madera o frutas. (Díddier y Castro, 2016)

Otras acciones o características de sistema de producción de lechen en armonía con el ambiente son:

- *Suelo: evitar suelo desnudo ya que es susceptible a la erosión y disminuye la producción forrajera y con ello la producción animal.*
- *Agua: nacientes quebradas y ríos deben de protegerse con vegetación densa que ayude a la conservación en cantidad y calidad del agua. el ganado por ninguna razón debe consumir agua directamente de las fuentes naturales y valorar las posibilidades de cosecha de agua llovida.*

- *Bosques primarios: deben de ser protegidos por su aporte al ecosistema en agua biodiversidad depósitos de carbono, animales no deben tener acceso a estas zonas.*
- *árboles en potreros y cercos: estimular su presencia de forma aislada, en bosques o como cercas vivas*
(Pérez, 2017.p.12)

Para diseñar estrategias y la implementación de acciones de mitigación y adaptación ante la variabilidad y el cambio climático es indispensable que la finca cuente con un registro detallado del hato, que oriente la toma de decisiones y la evaluación de impactos, también se realiza una recomendación a una mentalidad abierta al cambio y la meta es mejorar de manera continua. (Díddier y Castro, 2016)

Los sistemas productivos sostenibles incorporan enfoques ecosistémicos mediante el aprovechamiento de los mecanismos de compensación existentes y desarrollo de otros nuevos que permitan un uso sostenible de los recursos naturales y contribuyan a disminuir la emisión de GEI para ello se puede realizar con varios instrumentos siendo uno de ellos el Sistema de Certificación C-Neutral. (Rodríguez , 2016)

MARCO METODOLOGICO

3.1. Enfoque y tipo de investigación

Corresponde a una investigación con enfoque mixto y de tipo diseño exploratorio secuencial, Sampieri lo llama DEXPLOS, en este caso se especifica en el tipo derivativo: “La mezcla mixta ocurre cuando se conecta el análisis cualitativo de los datos y la recolección de datos cuantitativos. La interpretación final es producto de la comparación e integración de resultados cualitativos y cuantitativos” (Hernández et al, 2014)

Los métodos mixtos utilizan evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases para entender problemas en las ciencias y de

esa manera poder “capturar” ambas realidades coexistentes (la realidad intersubjetiva), que requieren tanto la visión “objetiva” como la “subjetiva” (Hernández et al., 2014) esto quiere decir que se requiere atender la visión objetiva con respecto a la identificación, recolección y cuantificación de los datos referentes a las emisiones, sin embargo no es un tema que pueda girar frente a una sola visión, nada lo es, lo subjetivo tiene referencia a la contextualización de la realidad, la interpretación de los resultados, y las posibles decisiones que se planteen para disminuir GEI.

No se encontraron estudios similares que se realizarán en el sistema de producción en análisis, ni similitudes con estudios anteriores, la información que se produce en el documento es de fuentes primarias en su mayoría. Sin embargo, como guía para el documento actual se valoraron estudios con el objetivo de cuantificar emisiones en sistema de producción bovino.

El objetivo del presente estudio es de orden secuencial, ya que los objetivos se relacionan entre si como consecuencia al anterior, en primer paso se tiene la identificación de fuentes de emisión y posterior el cálculo para definir las emisiones de acuerdo a los datos de la organización para completar una ecuación acerca de emisiones GEI en kg CO_{2e} por kg de leche producida en el sistema, un importante indicador para interrelacionar la producción sostenible y responsable agropecuaria con su objetivo, proveer alimentos a la población, por último lugar, se pretende determinar acciones que permiten que el sistema de producción disminuya emisiones GEI y se construya como una producción sostenible y responsable con los recursos naturales existentes.

3.2. Marco espacial

Aproximadamente 70 años atrás Franca Quirós y Eladio Hidalgo iniciaban con la particular lechería en el final del distrito de Santiago, San Ramón con ganadería de doble propositivo entre ese cantón y San Rafael de Esparza, con ventas de leche entera a revendedores o intermediarios, que posteriormente su principal cliente fue el Hospital de San Ramón, que tras cerca de 35 años en sus manos, la institución pidió comprar leche pasteurizada, situación a la que no le pudo hacer frente y

desistieron de continuar, abriendo camino a su vida con una jubilación sobre la actividad agropecuaria.

Su antepenúltima hija, Inés Hidalgo Quirós junto a su esposo Jose José Daniel Alpízar Rojas asumen la idea, con una vaca de herencia y 3 más que le compró José Daniel a su papá, para continuar lo que siguió siendo Finca San José, en honor al santo de ese nombre, con unas aproximadamente 4 hectáreas en el mismo lugar, Santiago de San Ramon, con la diferencia de que se sumaron las propiedades de Alto Villegas, de Volio San Ramón, lugar de donde era originario su esposo.

Modernizaron los pastos con siembra de estrella africana (*cynodum nlemfluensis*) y Camerún (*pennisetum purpureum*), que se mantienen al día de hoy, cambiaron la genética a una especializa de producción de leche, que a su vez permite otra importante actividad que es la crianza de hembras (terneras y novillas) para reemplazo y venta, que hace algunos años, varios de sus ejemplares fueron exportados a Panamá y Guatemala por su calidad de crianza, promovida principalmente por su alimento de suero lechero, subproducto restante de la producción de queso, para el mismo sentido se incorporó cerdos de engorde para aprovechar los residuos del procesamiento de leche.

Don José Daniel asistió a la feria del agricultor por más de 20 años antes y después de su matrimonio y mudarse a la Lechería, lo que le permitió incorporar residuos de subproductos restantes de la comercialización a la alimentación animal.

Queso, natilla, leche agria y otros que junto a leche entera eran comercializados en las calles de San Ramón, en venta casa por casa y a comercios de tipo alimenticio (sodas, restaurantes) como los ubicados en el Mercado de San Ramón, esa cartera de clientes se le identifica como “línea”, que años más tarde venderían.

Hoy, 36 años después de ese paso de primera a segunda generación de agricultura familiar, agrandaron sus áreas con compras a vecinos y parientes, entre ellos Jesús Quirós, José Ángel García, Jorge Quirós, Eladio Hidalgo Quesada, Eladio Hidalgo Quirós, Eliecer Barrantes, Annia Hidalgo Quirós, Edgar Alpízar Rojas, Fidel Villalobos Salazar, en Santiago como en Alto Villegas.

Para albergar alrededor de 100 animales en promedio en fincas que conviven animales entre árboles que protegen los ríos y nacientes que les atraviesan y desde hace 27 años en sus predios que incorporan las cercas eléctricas, rotación del pastoreo, fertilización por las deyecciones vacunas (excretas de tipo sólido y líquido).

El cantón San Ramón alberga ambas fincas, sin embargo, Finca Santiago es la principal por su extensión y porque en su espacio se encuentra el salón de sistema de producción, la lechería, ubicada en una altitud de 1.172m ubicada en la latitud 10,0451574 y longitud -84,4912145 en la escala de CRTM05: X:446228 Y:1110674.8, por su parte la Finca Alto Villegas, que se ubica en el distrito de Volio y es de una extensión significativamente menor.

Ubicaciones de fincas con respecto al cantón de pertenencia, San Ramón y el país

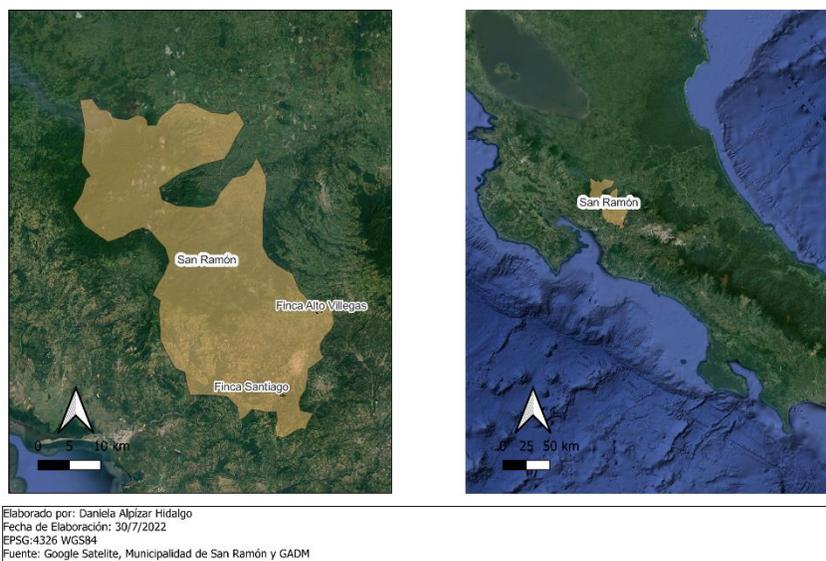


Figura 13. Ubicación del área en estudio

Fuente: Elaboración propia.

En estas dos fincas, se encuentran diferentes variables climáticas iguales y diferentes, como se puede apreciar en las figuras adjuntas, considerando que la

Finca Santiago tiene una temperatura media de 22 a 24 y la Finca Alto Villegas de 16 a 28.

Temperaturas mínima, media y máxima de acuerdo al IMN 60_13 de fincas identificadas

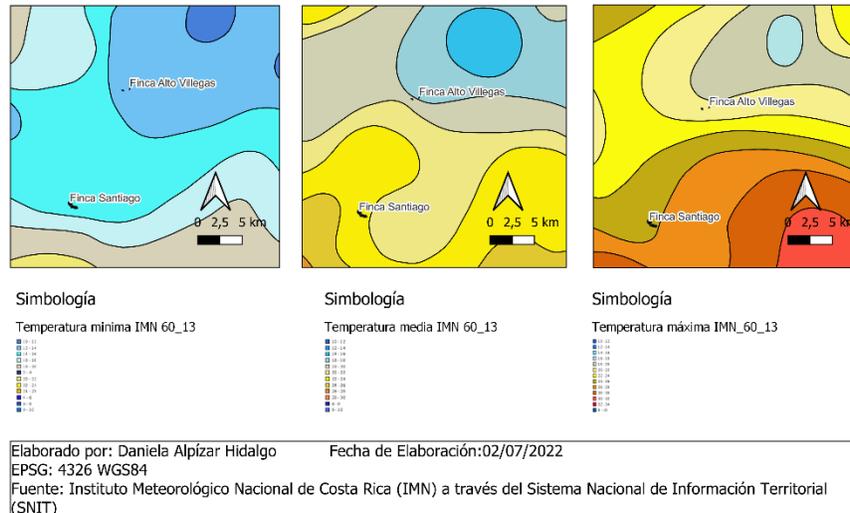


Figura 14. Temperaturas mínima, media, máxima de acuerdo con IMN en fincas

Fuente: Elaboración propia.

En la figura adjunta algunas características climáticas importantes, con respecto a las zonas de vida, ambas fincas se ubican en la misma Bosque Muy Húmedo, su precipitación anual es la misma de 2000 – 3000ml por año.



Figura 15. Zonas de vida y precipitación en fincas

Fuente: Elaboración propia.

La finca Santiago se divide en 3 partes separadas por calles públicas: Calle Santiago 202002 y Calle Quirós 202076, por su parte Finca Alto Villegas se divide en 2 partes y también es atrevasada por una calle principal, Ruta Nacional Terciaria 706 que conecta San Ramón con Zarcerro y Naranjo, esta caracterización es importante porque permite visualizar accesibilidad a las zonas, seguridad y el transporte de animales entre apartos, que son las divisiones de potreros.

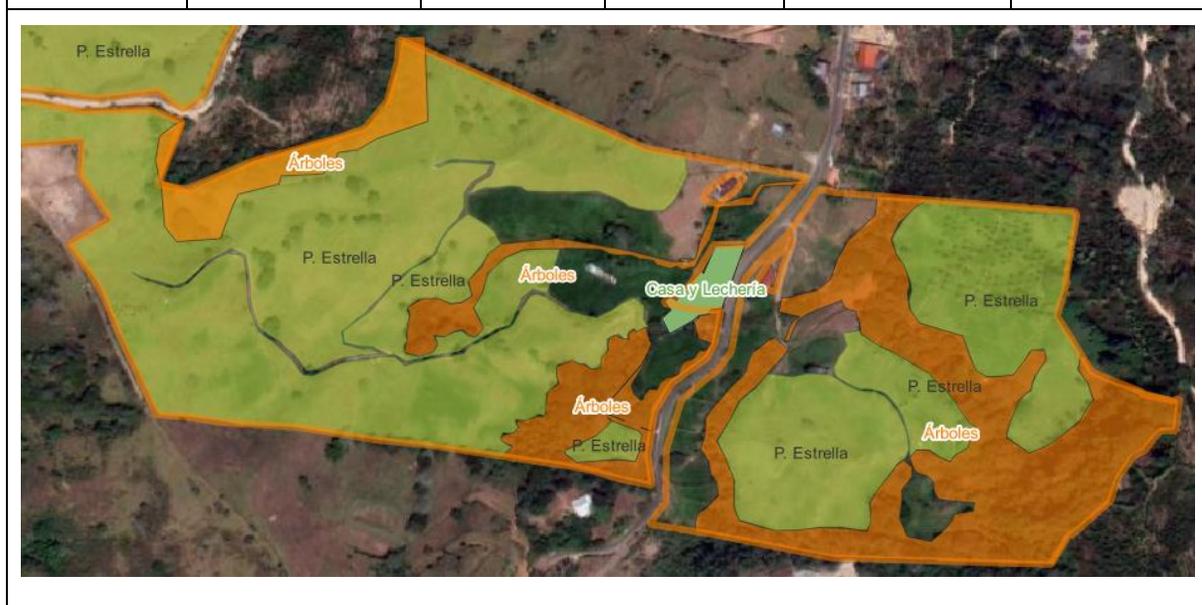
El objetivo que tiene el sistema de producción en analisis se basa en 2 temas:

- Producción de leche: para lo que integra vacas lecheras y vacas secas
- Crianza de hembras para reemplazo y venta: terneras y novillas

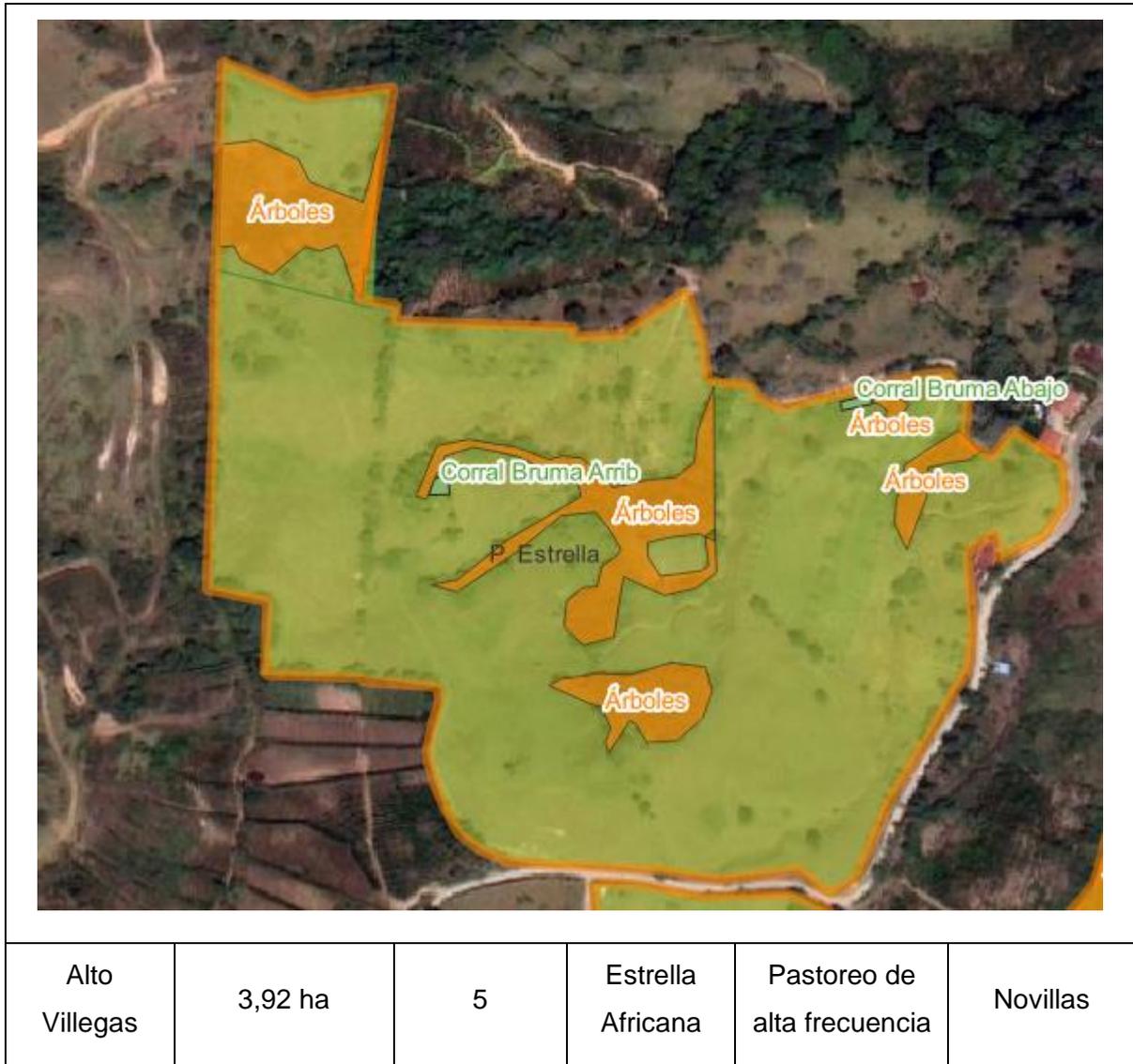
De acuerdo a ello se organiza el uso de la finca de la siguiente manera:

Tabla 2. Ganado y su uso de pastoreo en el sistema de producción

ID	Extensión (ha)	Cantidad de apartos	Cultivo	Uso	Población usuario
Lechería	11,79ha	47	Estrella Africana	Pastoreo de baja frecuencia	Vacas lecheras



Ternereras	0,17 ha (1724,75m)	3	Estrella Africana	Pastoreo de muy baja frecuencia	Ternereras
					
Bruma	13,15 ha	12	Estrella Africana	Pastoreo de alta frecuencia	Vacas secas



Fuente: Elaboración propia.

A cada finca se le aplico la identificación por uso, especificando que *p. estrella* hace referencia a pasto de tipo Estrella Africana (*Cynodum nlemfluensis*) que se encuentra en la mayoría de las finas.

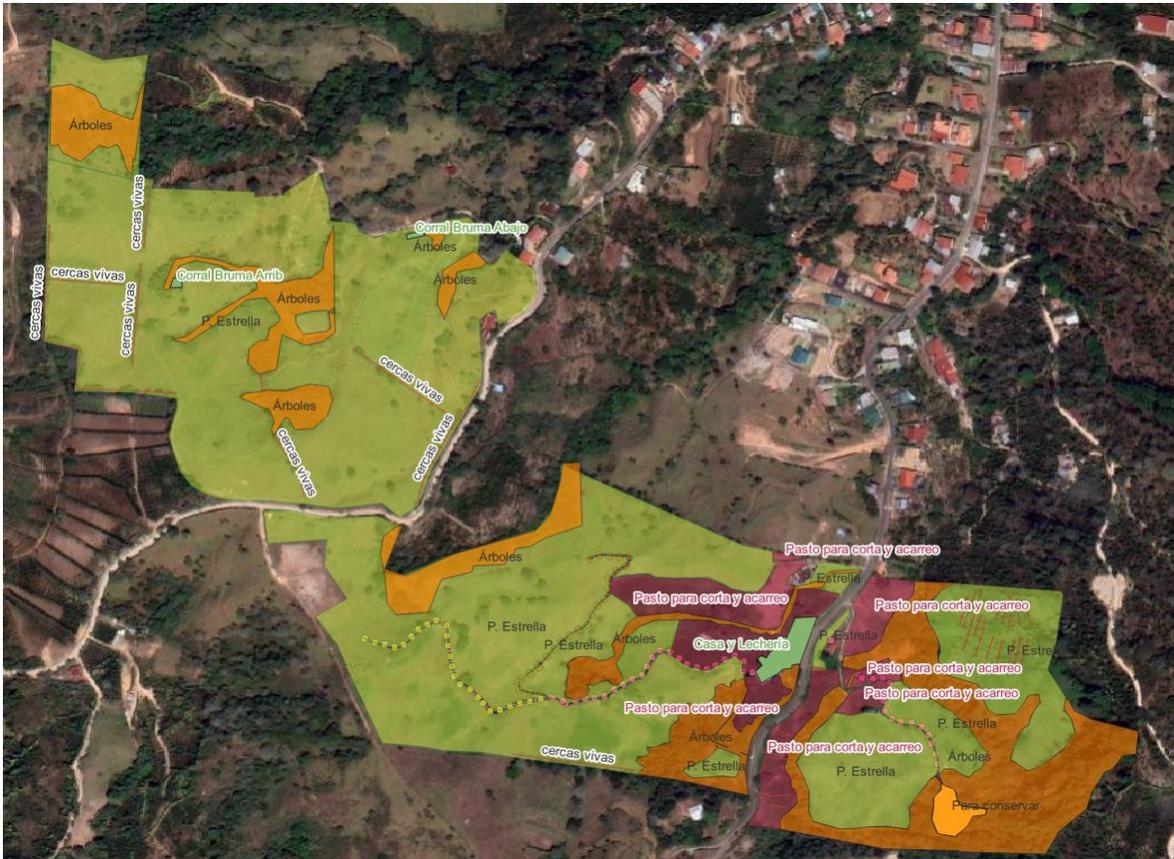


Figura 16. Identificación de tipo de uso en finca Santiago

Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Identificación de tipo de uso en finca Alto Villegas

Fuente: Elaboración propia.

Entre las dos fincas suman la cantidad de extensión que se describe:

Tabla 3. Tipo de uso en fincas por área

Tipo de uso	Área en m ²	Área en Ha
Árboles	64 578,39	6,45783893
Pasto para corta y acarreo	23 797,94	2,37979412
P. Estrella	290 358,40	29,0358396
Para conservar	1574	0,1574
TOTAL	361 660,37	36,16

Fuente: Elaboración propia.

En la comentado como “Árboles” se encuentran zonas de protección con presencia de árboles, de esa cantidad de superficie, 16 860,05 m² correspondiente al 3,8% pertenece a bosque secundario, el pasto de estrella (*Cynodum nlemfluensis*) es que abarcan mayor cantidad, debido a que son los espacios de pastoreo de los animales, que es uno de los recursos alimenticios más comúnmente utilizados en las fincas en la que se produce leche en Costa Rica, con 85 apartos divididos en las 36ha totales de ambas fincas, el pasto para corta y acarreo corresponde a más de 2,37979412 ha pero representa 1 500kg de materia verde diaria, la cuarta categoría hace especificación en una zona que se encuentra para conservar, misma que se ubica en el límite inferior derecho, anteriormente se usaba de repasto.

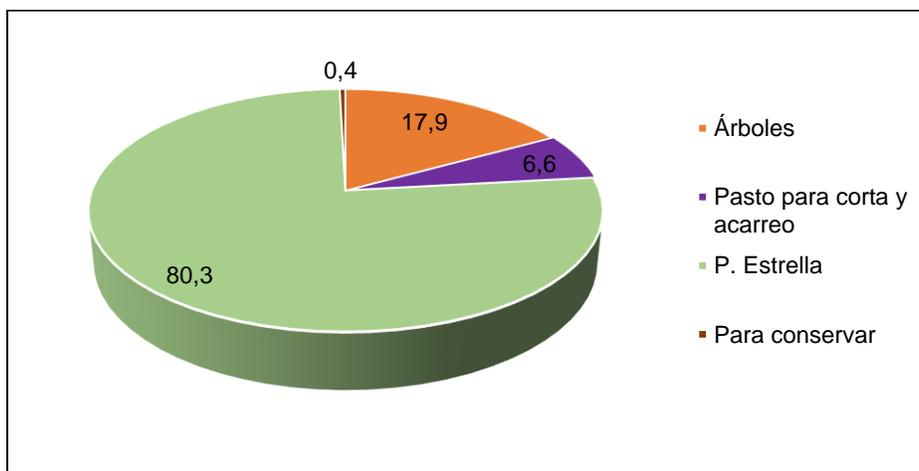


Figura 18. Distribución por tipo de uso de suelos en fincas.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Marco temporal

Las fuentes de emisión se identifican a través de la revisión bibliográfica, se realiza la recolección y creación de datos para posterior realizar las cuantificaciones y otros cálculos asociados durante el periodo anual comprendido entre los meses de enero a diciembre de 2021.

Es importante recordar que se trata de un sistema de producción con una única persona en la administración que además figura como co-dueño junto a su esposa, y que las demás personas que albergan la fuerza laboral son operadores de tipo peón agrícolas, por lo que la información debe crearse en su mayoría para poder dar pie a la investigación.

3.4. Identificación de fuentes de emisión en el sistema de producción de estudio.

Para hacer la identificación se revisa la normativa global y nacional existente actualizada, la misma la preside el IPCC, que en 2006 presentaron las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero sobre 5 grandes temas, en 2019, algunas partes recibieron actualizaciones, aún no se encuentran disponibles en español y no se tomaron en consideración para el presente trabajo.

1. Volumen 1 Orientación general e informes
2. Volumen 2 Energía
3. Volumen 3 Procesos Industriales y Uso de Productos
4. Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
5. Volumen 5 Residuos

De acuerdo con la bibliografía del IPCC el mayormente utilizado fue el Volumen 4 “Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”. Por su parte en Costa Rica, también se trabajó en especificaciones para estas mediciones, pero sobre todo para su validación como la Norma INTE/ISO 14064-1:2019 “Especificación con

orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero” se puede hacer una valoración.

De acuerdo con la Norma INTE/ISO 14064-1:2019, las emisiones de GEI se deben agregar ahora siguientes categorías a nivel de la organización:

- a) emisiones y remociones directas de GEI
- b) emisiones indirectas de GEI por energía importada
- c) emisiones indirectas de GEI por transporte
- d) emisiones indirectas de GEI por productos utilizados por la organización
- e) emisiones indirectas de GEI asociadas con el uso de productos de la organización
- f) emisiones indirectas de GEI por otras fuentes

Sin embargo, para crear el inventario la Norma obedece a ser un ejemplo regulador y no una guía para cuantificación, razón por la que se utiliza las Directrices del IPCC y los factores de emisión del IMN.

Debido a que no se encontró especificaciones sobre cuantificación en un sistema de producción lechera bovina, se buscaron investigaciones relacionadas para actualizar los aspectos metodológicos y guía las fuentes de acuerdo con lo comentado por la Norma.

Tabla 4. Investigaciones sobre huella de carbono o relacionadas en ganadería

Año	Descripción	Relación	Institución relacionada	Autoría
2010	La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica.	Trabajo de graduación para optar por el grado de Licenciada en Ingeniería Forestal.	TEC	Maureen Arguedas Marín

2010	Determinación del balance de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas de la Región Chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad.	Estudio / Informe Final	CATIE MAG	CATIE MAG
2015	Determinación de la huella de carbono y utilización de energía solar en unidades productoras de leche como alternativa al cambio climático en la Región Huetar Norte De Costa Rica	Trabajo Final de Graduación optar al grado de Bachillerato en Ingeniería en Agronomía	TEC, San Carlos	Gonzalo Quirós Vindas
2016	Proceso Certificación C-Neutral de una Finca Ganadera en Costa Rica	Sistematización de Procesos de Certificación - UCR	MAG-INTA	Jimena Rodríguez Moya
2016	Estimación de las emisiones y captura de CO2 en tres sistemas de producción dedicados a la ganadería de carne en la zona sur de Costa Rica	Proyecto para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia	UCR	Solanlly Gamboa

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en las citadas investigaciones además de identificar cuáles son las emisiones también se identificaron la posibilidad de disminuir tales emisiones, aunado a revisiones nacionales e internacionales sobre reducción de emisiones en sistemas de producción bovino lechero.

3.4.1. Recolección y creación de los datos

La recolección de datos fue posible gracias a las entrevistas semiestructuras y grupos focales con la pareja de productores y con las personas trabajadoras, (Anexo 1) para identificar registros de las actividades, debido a que no existe información accesible para su valoración e interpretación.

La recolección de datos fue posible gracias a las entrevistas semiestructuras y grupos focales con la pareja de productores y con las personas trabajadoras, para identificar registros de las actividades, debido a que no existe información accesible para su valoración e interpretación. A continuación, se mencionan los principales rubros de datos recolectados:

- a. Animales: cantidades promedio anual según su tipo.
- b. Uso de suelo de acuerdo con los límites geográficos encontrados en SIG.
 1. Tiempo de confinamiento y de pastoreo de cada tipo de animal.
 2. Uso de electricidad durante el 2021.
 3. cantidad de personas trabajadoras para el cet culo de aguas residuales

Corresponde a registro de animales, se revisa en los calendarios físicos de años diferentes para poder definir un promedio de animales según cada tipo de animal, también se le entrega el Registro de animales para que puedan optimizar el orden.

Con los animales la dieta y el peso aparece como las variables importantes de comentar, se trabaja con valores promedio, ya que no se tiene registro de tan específico y porque varios factores que se dan por defecto en formulas contemplan una consideración de promedio de 400 kg para hembras adultas.

El uso del suelo se define por lo designado a pastoras, límites físicos y otros, se realiza un trabajo de levantamiento de información geográfica, se solicita las

delimitaciones físicas correspondientes de la pareja productora, Inés Hidalgo y Daniel Alpízar a la Municipalidad de San Ramón, posterior identificar el área en cada tipo de cultivo, y aspectos como extensiones con presencia de árboles de tipo conservación y cercas vivas, además se encontró una plantación de fruta, para la realización de medidas se utiliza el programa *Qgis*, la aplicación móvil *GPS Tracker*.

Para datos de uso de combustibles se realiza con preguntas directas a productores, y para el caso de la electricidad se coordina directamente con el ICE.

Una vez concluida la identificación de emisiones con ayuda de los factores de emisión del IMN y las metodologías del IPCC se realiza la cuantificación mediante la recolección en una calculadora del sistema Microsoft Excel con autoría del Ph.D. Edgar Ortiz Malavasi, tutor del presente trabajo de investigación, con los resultados de esta etapa servirán para tener emitir el FPCM, que es un indicador funcional dado que permite medir la cantidad de gases de efecto invernadero que se están emitiendo para producir un litro de leche.

En el caso de la definición de grasa y proteína de leche corresponde a un análisis de laboratorio que se realiza con la coordinación con la Coopeleche.

3.5. Estimación de emisiones de GEI en kg CO₂e/kg leche

La emisión de GEI es resultante de las operaciones y actividades de una organización, las de tipo indirecta son proveniente de fuentes de GEI que no pertenecen ni son controladas por la organización y las de tipo de directa, en sentido contrario (IPCC, 2006b).

Las emisiones se multiplican por el PCG que es índice que se encuentra basado en las propiedades de radiación de los GEI, significa que mide la fuerza de radiación tras la emisión de un pulso de una unidad de masa de un GEI dado en la atmósfera actual integrado en un período determinado, con relación a la unidad del dióxido de carbono (CO₂) lo que deriva el CO₂ eq (IPCC, 2006b).

Tabla 5. Potencial de Calentamiento Global (PCG) den los tres principales gases de efecto invernadero GEI

GEI	PCG
Dióxido de carbono	1
Metano	21
Óxido nitroso	310

Fuente: (IPCC, 2006)

Los GEI fluorados se caracterizan por un PCG mucho más elevado, sin embargo, gran mayoría de estudios sobre cambio climático en el sector agrícola no consideran los compuestos fluorados por el mínimo uso que tienen en este ámbito. (Prenafeta y Fernández, 2021)

CO₂-equivalente es la cantidad de emisión de CO₂ que ocasionaría, durante un horizonte temporal dado, el mismo forzamiento radiactivo integrado a lo largo del tiempo que una mezcla de GEI. El forzamiento se utiliza para indicar un cambio en el estado normal del balance radiactivo de la Tierra, cuando el forzamiento radiactivo se evalúa como positivo, la energía del sistema Tierra-atmósfera aumentará, lo que ocasiona a un calentamiento del sistema. (Prenafeta y Fernández, 2021)

Las emisiones de CO₂ eq constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático (IPCC, 2006b).

Para la estimación se debe de realizar cálculos para cada tipo de fuente que conlleva los datos del sistema de producción que se crearon en un cálculo tipo ecuación para estimar las emisiones de GEI en kg CO₂e y posterior con la corrección de grasa y proteína de la leche se puede definir kgCO₂e por kg de leche producida, esto porque el fin último del sistema de producción es producir alimentos.

Ecuación 1. Kg de CO₂e emitidos por litros de leche producidos

$$\text{kg de CO}_2\text{e} / \text{Litro de leche} = \Sigma \text{CO}_2\text{e (kg)} / \text{FPCM}$$

Donde:

kg de CO₂e: Emisiones directas e indirectas de la actividad en dióxido de carbono equivalente.

Litro de leche: producido en la actividad en análisis.

Σ CO₂e (kg): Total de emisiones de dióxido de carbono equivalente.

Para FPCM se realiza la siguiente ecuación (Quirós, 2015):

Ecuación 2. Contenido de grasa y proteína corregido por la producción total de leche

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

Donde:

kg GPCL: Contenido de grasa y proteína corregido por la producción total de leche

G: Porcentaje de grasa en leche

P: Porcentaje de proteína en leche

L: total de leche producida por todas las vacas al año.

Para la ecuación 2 se requieren análisis de laboratorio que defina la grasa y proteína, una vez con esa información se debe conocer los datos de producción total por año, la información más amplia de cuantificar son las emisiones que se generan, para ello con las fuentes identificadas se busca sobre los cálculos existentes y utilizados para poder hacer las correspondientes operaciones, en primera instancia se revisa todas las emisiones que son provenientes del ganado.

En el caso de la leche se cuantifica por kg CO₂ eq por kg de leche corregida en grasa y proteína (FPCM por sus siglas en inglés Fat and Protein Corrected Milk) de esta manera se puede identificar el tamaño de la huella de carbono que tiene 1kg de leche.

3.5.1. Emisiones provenientes del ganado

Para trabajar emisiones es necesario ponderar la cantidad de población de animales anuales, en el caso del sector agropecuario, los animales no siempre se mantienen los 365 días del año, ya sea porque nacen o mueren en el proceso, la mortalidad no es únicamente para el uso de carne en consumo humano, también obedece a causas de salud y climáticas, por lo que se debe realizar el cálculo de promedio por cada tipo de animal y sus días vivo.

Ecuación 3. Población promedio anual de ganado

$$AAP = \text{Días}_{viva} * \left(\frac{NAPA}{365} \right)$$

Donde:

AAP: Población promedio anual

NAPA: Cantidad de animales producidos anualmente

3.5.1.1. Emisiones de CH₄ por fermentación entérica

Los animales rumiantes producen CH₄ durante la fermentación de los alimentos en el rumen, este gas se emite como subproducto de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono esta fermentación produce hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas para reducir el carbono del CO₂ a CH₄ (Cambra et al. 2008 citado por Gamboa, 2016). El CH₄ producido durante la fermentación representa una pérdida en la energía producida por el animal, esta pérdida de energía ronda entre 2% a 12% (Beauchemin y McGinn 2005 citado por Gamboa, 2016 al aumentar la ingestión de materia seca se acelera el paso del alimento por el aparato digestivo, lo que disminuye el tiempo disponible para la fermentación ruminal (Hindrichsen et al. 2006 citado por Gamboa, 2016, p.13)

Las raciones menos digestibles generan emisiones elevadas de CH₄ por unidad de energía ingerida (Berra y Finster 2002 citado por Gamboa, 2016), mientras que las dietas con concentraciones altas en carbohidratos producen menos cantidades de CH₄ (Ramin y Huhtanen 2013 citado por Gamboa, 2016), esto se debe a que dietas

más digestibles producen ácido propiónico en lugar de ácido acético, para la síntesis de ácido propiónico se utiliza más H₂ y por tanto queda menos H² disponible para la producción CH₄. (Cambra et al. 2008 citado por Gamboa, 2016, p.13)

Costa Rica tiene sus propios factores de emisión para ganado y otras muchas actividades, lo que facilita su cuantificación.

Tabla 6. Factores de emisión de GEI para Ganadería: proceso digestivo ganado vacuno

Tipo	Carne	Leche kg CH ₄ /cabeza año	Doble propósito
Terneros	19,48	20,00	16,81
Hembras en crecimiento	63,61	48,69	41,91
Machos en crecimiento	66,25	---	70,16
Hembra adulta	85,80	85,00	85,67
Macho adulto	111,70	111,70	111,70

Fuente: IMN, 2022

La fórmula utilizada según Vallejo (2013) basado en el IPCC (2006) para determinar las emisiones por fermentación entérica considera únicamente el PCG de CH₄ por lo explicado en el capítulo de 2. *Revisión de Literatura*.

Ecuación 4. Emisiones (t CO₂-eq/año) por fermentación entérica

$$ECH_4 = \frac{(\sum CAC \cdot FE_{CH_4}) * PCG_{CH_4}}{1000}$$

Donde:

ECH₄: Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/año)

CAC: Cantidad de animales de cada categoría al año

FE\CH₄ Factor de emisión de FE\ CH₄ para cada categoría animal (kg CH₄/animal/año)

PCG CH₄: Potencial de calentamiento global CH₄ (PCGCH₄= 21)

3.5.1.2. Emisión de CH₄ por gestión del estiércol

Según IPCC (2006) las emisiones CH₄ por gestión del estiércol o producción excretas se utiliza de modo que incluye la bosta, referido a las excretas en sólido y la orina (sólidos y líquidos) producidos por el ganado y su gestión durante el almacenamiento y el tratamiento, así como el depositado en la pastura.

Las emisiones de CH₄ ocasionadas por la excreción de los animales se calcularon mediante el uso de factores de emisión para el país establecidos por el IMN (2022), en esa ecuación se diferencia que se trabaja con la población total (PT) y no con la cantidad según categoría y es porque el factor de emisión para ganado es único, no tiene diferenciación según tipo, así lo determina el IMN.

Tabla 7. Factores de emisión de GEI para Ganadería: manejo del estiércol

Especie	Factor de emisión kg CH₄ /cabeza/año
Ganado	1,0
Caballos	1,64
Cabras	0,17
Cerdos	1,0
Aves de corral	0,02

Fuente: IMN, 2022

Ecuación 5. Emisiones (t CO₂-eq/año) por gestión del estiércol

$$ECH_4 = \frac{PT * FE CH_4 * PCGCH_4}{1000}$$

Donde:

ECH₄: Emisión de CH₄ (t CO₂-eq/año)

PT: Población total (total de animales/año)

FE CH₄ Factor de emisión de FE CH₄ para cada categoría animal (kg CH₄/animal/año)

PCGCH₄: Potencial de calentamiento global CH₄ (PCGCH₄= 21)

3.5.1.3. Emisiones de N₂O por la gestión del estiércol

Otro GEI presente es el N₂O producido, de manera directa o indirectamente, durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol antes de que se aplique a la tierra o se lo utilice de otra manera, las emisiones de óxido nitroso resultantes de la gestión del estiércol varían significativamente entre los tipos de sistemas de gestión utilizados y, además, pueden provocar emisiones indirectas debidas a otras formas de pérdida de nitrógeno del sistema.

Y para este cálculo se realiza con apoyo del capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol con el capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea del del volumen 4 del IPCC. (2006)

Debido a que las emisiones directas de N₂O se dan mayoritariamente en suelos, un incremento de N disponible en suelos aumenta las tasas de nitrificación, que por consiguiente también aumentará la producción de N₂O. “Los aumentos del N disponible pueden producirse por agregados de N inducidos por el hombre o por cambios en el uso de la tierra y/o en las prácticas de gestión que mineralicen el N orgánico del suelo” (IPCC, 2006b, p.11.16) para el presente caso se puede encontrar las fuentes relacionada a estiércol:

- N orgánico aplicado como fertilizante (p. ej., estiércol animal, *compost*, lodos cloacales, desechos) (F_{ON})
 - N de la orina y el estiércol depositado en las pasturas, praderas y prados por animales de pastoreo (F_{PRP})
- (IPCC, 2006c)

La gestión del estiércol o producción de excretas presenta una emisión de N₂O que se diferencia entre su aplicación si fue aplicado a pasturas o recolectado en animales confinados, por lo que para las siguientes estimaciones se debe comentar que los tipos de animales se encuentran en pastoreo y en confinamiento diferente cantidad de horas, por lo que se debe realizar las operaciones para definir las

emisiones directas en pastoreo y en confinamiento, para esa guía se adjunta la tabla sobre el factor de pastoreo y confinamiento, que evidentemente de complementan. (Arguedas, M. 2010)

Tabla 8. Factores de pastoreo y confinamiento por tipo de ganado

Tipo de ganado	Promedio de peso (kg) TAM	Factor de pastoreo	Factor de confinamiento
Machos (recién nacidos)	> 100	0	1
Hembras (recién nacidos en adelante)	> 100	0	1
Hembras en crecimiento (de terneras a novillas) Terneras	> 250	0,1	0,9
Hembras en crecimiento (novillas)	> 400	1	0
Hembra adulta lechera	400	0,6	0,4
Hembra adulta seca	400	1	0

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las hembras adultas se separa entre las que están en producción de leche y secas o prontas a un parto de manera que no se encuentran produciendo leche y se encuentran en la parte de la Bruma, como se especifica en la tabla 3 en donde no tienen confinamiento, en comparación las hembras adultas lecheras se encuentran en confinamiento el 40% del día, que es alrededor de 9 horas en proceso de ordeño y alimentación.

Por su parte las novillas se encuentran en la Finca de Alto Villegas (tabla 3) únicamente se mantienen en pastoreo durante todo el día, pero no es la misma situación para las hembras en crecimiento que sólo pastorean el 10% del día, debido a que por su temprana edad no deberían mojarse bajo la lluvia y recibir una alta alimentación que les permita crecer.

3.5.1.3.1. Emisiones directas de N₂O por la gestión del estiércol en pastoreo

La producción de N₂O aumenta por las tasas de nitrificación y desnitrificación por el incremento de N en el suelo (IPCC, 2006c). La orina y el estiércol depositados en las pasturas por animales que se encontraban en pastoreo corresponde a una fuente de N para estimar las emisiones directas de N₂O de suelos gestionados con la siguiente ecuación (IPCC, 2006c):

Ecuación 6. Emisiones directas anuales de N₂O-N de aportes de gestión del estiércol por pastoreo

$$N_2O - N = [F_{PRP, CPP} * EF_{3PRP, CPP}]$$

Donde:

N₂O-N: Emisiones directas anuales de N₂O-N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, kg N₂O-N año⁻¹.

F_{PRP, CPP}: Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositado por los animales vacunos en pastoreo, kg N año⁻¹.

EF_{3PRP, CPP}: Factor de emisión para emisiones de N₂O del N de la orina y el estiércol depositado en pasturas, por animales vacunos en pastoreo, kg N₂O-N (kg de aporte de N).

Para este último item se utiliza un valor por defecto para kg N₂O-N (kg N⁻¹) que es de 0,02 (IPCC, 2006c).

Para poder realizar la anterior ecuación, se debe realizar otra ecuación para determinar el valor de F_{PRP} :

Ecuación 7. Factor de emisión para emisiones de N₂O del N de orina y estiércol depositado en pasturas

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_T * Nex_T) * MS_{T, PRP}]$$

Donde:

F_{PRP}: Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada en pasturas, por animales en pastoreo, kg N año⁻¹.

N_(T): Cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T.

Nex_(T): Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N animal⁻¹.

$MS_{(T, PRP)}$: Fracción del total de la excreción anual de N de cada especie/ categoría T que se deposita en pasturas.

Para este último ítem se utiliza los valores de fracción total de excreción anual de N según categoría de animal, que se utiliza el mismo 0,99 para ganado vacuno, en América Latina en pastoreo. (IPCC, 2006c)

Para poder realizar la ecuación anterior se requiere primero el cálculo de $Nex_{(T)}$: con la ecuación:

Ecuación 8. Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/ categoría T en el país, kg N animal⁻¹

$$Nex_T = N\ indice_T * \frac{TAM}{1000} * 365$$

Donde:

$Nex_{(T)}$: Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/ categoría T, kg N animal⁻¹.

N índice T: Tasa de excreción de N por defecto, kg N (1 000 kg de masa animal)⁻¹ día⁻¹

TAM: Masa animal típica para la categoría de ganado T, kg animal⁻¹

$N_{\text{índiceT}}$ utiliza factores de por defecto que de 0,48 para ganado vacuno y 0,36 para otros vacunos, por lo que se interpreta que 0,48 se utiliza para las hembras adultas (lecheras y secas). En la ecuación anterior se multiplica por 365, considerando que la operación es diaria y debe de multiplicarse para dimensionarse por año (IPCC, 2006c).

Una vez calculado el N_2O-N de la ecuación 6 se aplica la siguiente ecuación

Ecuación 9. Factor de conversión, para obtener el N_2O

$$N2O = N2O-N * \frac{44}{28}$$

Es importante aclarar que las poblaciones de animales se encuentran divididas en 4, y sólo 3 de ellas pastorean y lo hacen en diferente cantidad de horas, lo que va a significar 3 tipos de la serie de ecuación anteriormente mencionada para definir N_2O en pasturas por producción de excretas (IPCC, 2006c).

3.5.1.3.2. Emisiones indirectas de N₂O por la gestión del estiércol en pastoreo

A diferencia de las emisiones explicadas provenientes de ganado, para este cálculo se realiza con el capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea del IPCC (2006c)

En primera instancia se calcula la cantidad anual de N₂O-N producida por deposición atmosférica de N volatizado por medio de la siguiente fórmula adaptada a los datos y objetivo, antes de ello se debe conocer la ecuación 8 y 9, el valor de F_{PRP}: Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositado por animales de pastoreo en pasturas, kg N año⁻¹ bajo la proporción del factor de pastoreo de la tabla 8. Posterior a realizar la ecuación siguiente, se debe realizar la conversión de emisiones que es la misma ecuación 10.

Ecuación 10. Cantidad anual de N₂O- N producida por deposición atmosférica de N volatizado de suelos gestionados, kg N₂O-N año⁻¹.

$$N_2O_{(ATD)-N} = [(F_{PRP}) * FRAC_{GASM}] * EF_4$$

Donde:

N₂O_{(ATD)-N}: Cantidad anual de N₂O- N producida por deposición atmosférica de N volatizado de suelos gestionados, kg N₂O-N año⁻¹.

F_{PRP}: Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositado por animales de pastoreo en pasturas, kg N año⁻¹.

FRAC_{GASM}: Fracción de materiales fertilizantes de N de orina y estiércol depositado por animales de pastoreo (F_{PRP}) que se volatiza como NH₃ y NO_x, kg N volatizado (kg de N aplicado o depositado)⁻¹.

EF₄: Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua (kg N-N₂O (Kg NH₃-N+NO_x-N volatizado)-1).

Los dos últimos ítems se definen por defecto a 0,20 y 0,010, respectivamente. (IPCC, 2006b, p.11.23)

3.5.1.3.2. Emisiones directas de N₂O por gestión del estiércol en confinamiento

Antes de iniciar con las operaciones respectivas se debe de aclarar que según la tabla 8 el sistema de gestión del estiércol es diferente para los tipos de confinamiento que tienen las hembras en crecimiento y las vacas lecheras, y de acuerdo con ello se define los factores de emisión por defecto para emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol que son 0 y se cita la fuente (IPCC, 2006):

Tabla 9. Sistema de gestión de estiércol y su factor para confinamiento por tipo de ganado

Tipo de ganado	Sistema de gestión del estiércol	Definición	EF ₃ [kg N ₂ O-N (kg nitrógeno excretado)- 1]	Fuente
Hembra adulta lechera	Líquido/Fango	El estiércol se almacena tal como se excretará o con un mínimo agregado de agua en tanques o en estanques de tierra fuera del lugar en el que están los animales, habitualmente por períodos de menos de un año.	0 (Sin cobertura de costra natural)	“Se considera que las emisiones son insignificantes debido a la ausencia de formas oxidadas de nitrógeno que entren a los sistemas en combinación con un bajo potencial para la nitrificación y desnitrificación en el sistema”
Hembra en crecimiento	Distribución diaria	El almacenamiento de estiércol, habitualmente por períodos de varios meses, en pilas o parvas no confinadas. El estiércol puede	0,005	Dictamen del Grupo de Expertos del IPCC en combinación con Amon et al. (2001), que señala emisiones que oscilan entre 0,0027 y 0,01 kg N ₂ O-N (kg N)-1.

		apilarse debido a la presencia de una suficiente cantidad de material de cama o a la pérdida de humedad por evaporación.		
--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con datos IPCC, 2006, p.10,67)

Al factor ser 0 para la población de hembras lecheras, la ecuación no tiene pertinencia, sin embargo, las hembras en crecimiento deben de realizarse la operación siguiente:

Ecuación 11. Emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol en confinamiento, kg N₂O año⁻¹.

$$N_2O D(mm) = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_T * Nex_T * MS_{T,S}) \right] * EF_{3(S)} \right] * \frac{48}{28}$$

Donde:

N₂O D (mm): Emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol, kg N₂O año⁻¹.

N_(T): Cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T.

Nex_(T): Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N animal⁻¹.

MS_(T, S): Fracción del total de la excreción anual de N de cada especie/categoría T para el sistema de gestión de estiércol L. Sin dimensión.

T: Especie/ categoría de ganado.

S: sistema de gestión del estiércol, que se presentarán dos casos: líquido/fango y distribución diaria, según Cuadro 10A-5.

44/28: Conversión de emisiones de N₂O -N_(mm) a emisiones de N₂O_(mm)

EF_{3(S)}: Factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión del estiércol S, kg N₂O -N/kg N en el sistema de gestión del estiércol S.

Para el caso de MS_(T, S) las hembras en crecimiento bajo ese sistema de gestión son de 10% (p.10.82)

3.5.1.3.3. Emisiones indirectas de N₂O por gestión del estiércol en confinamiento

Para el cálculo de las emisiones indirectas de N₂O causadas por los animales confinados, en este caso, hembras en crecimiento (mayoría del día) se utilizó el capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del estiércol y el ganado, nivel 1 (IPCC, 2006).

En primer lugar, se debe conocer la volatilización:

Ecuación 12. Volatilización del N en forma de NH₃ y NO_x del sistema de gestión del estiércol

$$N_{volatilización-MMS} = \sum_S \left[\sum_T [N_T * Nex_T * MS_{T,S}] * \left(\frac{FracGasMS}{100} \right) \right] * EF_{3(S)}$$

Donde:

N volatilización- MMS: Cantidad de nitrógeno del estiércol que se pierde debido a la volatilización de NH₃ y NO_x kg N año⁻¹

N (T): Cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país.

Nex (T): Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N animal⁻¹ año⁻¹.

MS (T,S): fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin dimensión.

Frac (GASMS): porcentaje de nitrógeno del estiércol gestionado para la categoría del ganado T que se volatiliza como NH₃ y NO_x en el sistema de gestión del estiércol S, %.

En su mayoría todos los datos se conocen por las ecuaciones anteriores o bien por los cuadros, el dato faltante es un valor por defecto para Pérdida de N del MMS debido a la volatilización de

N-NH₃ y N-NO_x (%) Frac_{GasMS} (Rango de Frac_{GasMS}) que es de 45% para ese tipo. (IPCC, 2006, p.10.70)

Posteriormente se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 13. Emisiones indirectas de N₂O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol en confinamiento, kg N₂O año⁻¹

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilización-MMS} * EF_4)$$

Donde:

N₂O_(mm): Emisiones indirectas de N₂O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol, kg N₂O año⁻¹

EF₄: factor de emisión para emisiones de N₂O resultantes de la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua, kg N₂O-N (kg NH₃-N+NO_x-N)⁻¹,

El valor por defecto del último ítem es de 0.01 kg N₂O-N (kg NH₃-N+NO_x-N)⁻¹ según IPCC (2006c, p.11.26)

Una vez finalizado este cálculo se debe ponderar de acuerdo con la cantidad de tiempo de confinamiento de la tabla 8.

3.5.1.3.3. Emisiones de N₂O de suelos gestionados

Las emisiones del GEI N₂O generadas por el estiércol o excretas en pasturas, las mismas son producidas directa e indirectamente desde el suelo, es por ello por lo que se declaran bajo la categoría de *Emisiones de N₂O de los suelos gestionados* de acuerdo al *Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea*, de igual manera bajo las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006).

Una parte significativa del total de nitrógeno excretado por los animales en los sistemas gestionados, los que no son pastura se pierde antes de la aplicación final en suelos gestionados o bien de sus usos como alimento o combustible, e incluso para la construcción. A fin de estimar la cantidad de nitrógeno del estiércol animal que se aplica directamente a los suelos es necesario reducir la cantidad total de nitrógeno excretado por los animales en sistemas gestionados restándole las pérdidas de N producidas por volatilización (es decir, NH₃, N₂ y NO_x), conversión a N₂O y pérdidas por lixiviación y escurrimiento (IPCC, 2006c).

Para lo referente a la estimación de N, se realiza la ecuación con datos de las ecuaciones anteriores.

Ecuación 14. N de estiércol gestionado disponible para la aplicación en suelos gestionados y otros

$$N_{MMS_Avb} = \sum_S \left\{ \sum_T \left[\frac{[(N_T * Nex_T * MS_{T,S}) * (1 - \frac{FracPérdidaMS}{100})]}{[N_T * MS_{(T,S)} * N_{camaMS}]} + \right] \right\}$$

Donde:

NMMS_Avb = cantidad de nitrógeno de estiércol gestionado disponible para su aplicación en suelos gestionados o para alimento, combustible o para la construcción, kg N año⁻¹

N(T) = cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país

Nex(T) = promedio anual de excreción de N por animal de la especie/categoría T en el país, kg N animal⁻¹ año⁻¹

MS(T,S) = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin dimensión

FracGasMS = cantidad de nitrógeno del estiércol gestionado para la categoría de ganado T que se pierde en el sistema de gestión del estiércol S, % que se representa como FracPérdidaMS

NcamaMS = cantidad de nitrógeno de las camas (a aplicar para almacenamiento de sólidos y MMS de cama profunda si se utiliza una cama orgánica conocida), kg N animal⁻¹ año⁻¹

S = sistema de gestión del estiércol

T = especie/categoría de ganado

Para realizar la ecuación se deben comentar sobre la cantidad de N en las camas, que son algunas formas orgánicas de materiales para este uso son paja, aserrín, entre otros, ello implica que también se debe considerar el N adicional, sin embargo las camas se producen más lentamente que la del estiércol y que la concentración de la fracción de amoníaco en las camas orgánicas es insignificante, se supone que tanto las pérdidas por volatilización como las de lixiviación durante el almacenamiento de camas equivale a cero (European Environmental Agency, 2002, citado por IPCC 2006).

Los materiales usados como cama varían significativamente, pero la limitada información disponible en la bibliografía científica indica que, habitualmente, la cantidad de nitrógeno contenida en el material orgánico de las camas para vacas lecheras y vaquillonas es de alrededor de 7 kg N animal⁻¹ año⁻¹, para otros vacunos

de 4 kg N animal-1 año-1, para el presente caso se utiliza la última cifra, ya que se habla de hembras en crecimiento (Webb, 2001; Döhler *et al.*, 2002, citado por IPCC 2006c).

Por otro lado, el valor por defecto para $Fra_{CPérdidaMS}$ es de 50% (IPCC, 2006c) los demás valores se conocen, se finaliza con la aplicación de la ecuación 9 para ubicar las emisiones.

3.5.2. Emisión de CO2 por uso de combustibles

En el caso de combustibles provocan emisión de 3 diferentes GEI directos: CO₂, CH₄ y N₂O y cada uno de ellos se establece su factor de emisión por el tipo de combustible utilizado, que esto varía de acuerdo con su uso, como se aprecia en la tabla adjunta.

Tabla 10. Factores de emisión de GEI para Combustibles

Combustible	Factor de emisión (kg CO ₂ / L / combustible)	Factor de emisión g CH ₄ / L / combustible	Factor de emisión g N ₂ O / L Combustible
Gasolina	2,231		
Diesel	2,613		
Transporte terrestre/diesel/sin catalizador		0,149	0,154
Transporte terrestre/gasolina/con catalizador		0,907	0,283
Residencial y agrícola/Gasolina		0,46	0,02211

Fuente: IMN, 2022

Según los lineamientos del IPCC (2006c), las emisiones se pueden calcular por medio del consumo de combustible o por medio del kilometraje de los vehículos. En este caso, debido a la disposición de datos por parte de la institución, se utilizó el

consumo de combustible. Se eligió el método 1, Capítulo 3: Combustión móvil, de las directrices del IPCC (2006c).

3.5.3. Emisión de CO₂ por uso de electricidad de la finca

Para la estimación de la emisión de CO₂ producida por el consumo de electricidad se utilizó el factor de emisión del consumo eléctrico (kg CO₂-eq/kWh) para Costa Rica del año 2021 como lo determina el estudio, año con año presenta una variación como se puede observar en la tabla adjunta.

Tabla 11. Factores de emisión de sector electricidad

Año	Factor de emisión kg co2 e/kwh
2021	0,0400
2020	0,0282
2019	0,0365
2018	0,0395
2017	0,0490
2016	0,0557
2015	0,0381

Fuente: IMN, 2022

El factor de emisión de Costa Rica es bastante bajo, debido a que en el país las fuentes renovables son las predominantes (Montes de Oca y Arce, 2011)

La fórmula para definirla es:

Ecuación 15. Emisiones (t CO₂-eq/año) por uso de electricidad

$$E_{CO_2} = \frac{CTE \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}}{1000}$$

ECO₂: Emisión de CO₂ (t CO₂-eq/año)

CTE: Consumo total de electricidad al año (kWh)

FE CO₂: Factor de emisión del CO₂ (kg CO₂-eq/kWh) (Tabla 7)

PCG CO₂: Potencial de calentamiento global del CO₂ (PCG CO₂= 1)

3.5.4. Emisión CH₄ por aguas residuales

Para el cálculo de la emisión de aguas residuales se debe de ubicar el tipo de tratamiento, el cual corresponde a tanques sépticos y gracias a los valores de IMN (2022) el factor de emisión kg CH₄ /persona/año es de 4,38, por lo que se realiza la siguiente ecuación:

Ecuación 16. Aguas residuales domésticas del sistema

$$E_{CO_2} = \frac{Q_p \cdot FE_{CO_2} \cdot PCG_{CO_2}}{1000}$$

Donde:

ECO₂: Emisión de CO₂ (t CO₂-eq/año)

Q_p: cantidad de personas

FE CO₂: Factor de emisión kg CH₄-eq/Kg residuos

PCG CO₂: Potencial de calentamiento global del CH₄ (= 21)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados a los diferentes cálculos descritos en el capítulo sobre el Marco Metodológico, para posterior identificar acciones de disminución, junto con la propuesta de mejora.

4.1. Emisiones provenientes del ganado

El primer paso para la identificación y cuantificación de emisiones es la definición de la cantidad de animales promedio anuales, para ello se realiza la ecuación 1 para cada tipo de ganado:

Tabla 12. Caracterización de ganado

Tipo de ganado	Promedio de peso	Días vivo	NAPA: Cantidad de animales producidos anualmente	AAP: Población promedio anual
----------------	------------------	-----------	---	----------------------------------

Vacas productoras de leche y vacas secas*	400kg	365	61	61
Terneros (machos) menores a 6 meses	< 150	7	28	0.2
Terneras (hembras) menores a 6 meses	< 150	365	20	20
Novillas (hembras) menores de 2 años	>250	365	7	7
			Total	88.54

*Secas: vacas que se encuentran en sus últimos meses de gestación y no se encuentra produciendo leche.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla, los únicos animales que deben realizar la ecuación son los terneros que son los machos ya que no permanecen en el sistema de producción, por lo que duran en promedio 7 días y se venden o regalan, en las lecherías especializada que se da el ordeño sin la presencia de los terneros (machos y hembras), usualmente los machos son eliminados del hato (no se crían); la leche se destina a la venta para consumo humano. (Pérez, 2017b) Mientras que las hembras se crían y una parte de las hembras se dejan de reemplazo, otras son vendidas en el proceso de crianza, por lo que se trabajó con promedio de animales.

4.1.1. Emisión de CH₄ fermentación entérica

En la literatura se presenta esta cuantificación como la mayor cantidad de gases de la totalidad, no solo lo que corresponde a emisiones de ganado, sino de la totalidad de la organización. Y su distribución es proporcional al grupo de mayor tamaño por cantidad y peso, que son las hembras adultas, específicamente las lecheras.

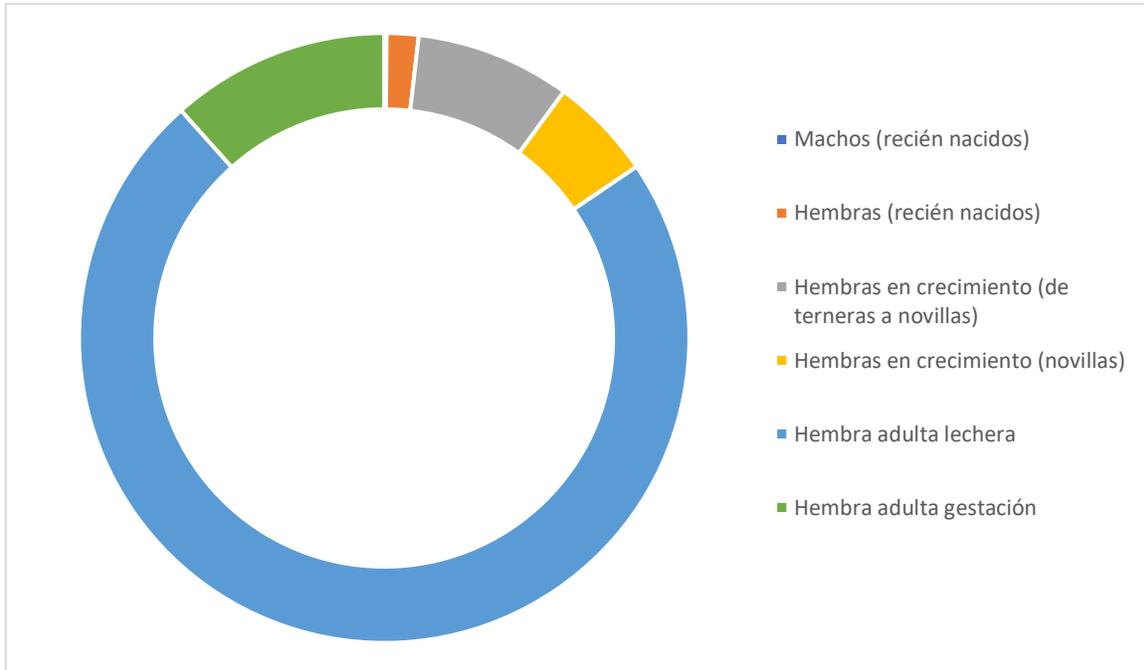


Figura 19. Participación en fermentación entérica por grupo de animales.

Fuente: Elaboración propia.

Para este cálculo las ecuaciones y tablas del apartado 4.1.1 que suman **5936.57 CH₄** y **124,67 T CO₂ eq**, este rubro es el de mayor importancia en participación del inventario.

Tabla 13. Emisión de CH₄ fermentación entérica en ganado

Especie	PTPA*	Factor de emisión (IMN, 2022)	Subtotal Kg (CH ₄)	Subtotal TON (CO ₂ eq)
Machos (recién nacidos)	0,4	20	8,8	0,19
Hembras (recién nacidos)	6,0	20	120,0	2,52
Hembras en crecimiento (de terneras a novillas)	12,0	48,69	584,3	12,27

Hembras en crecimiento (novillas)	8,0	48,69	389,5	8,18
Hembra adulta lechera	61,0	85	5185,0	108,89
TOTAL	97.1		824,4	17,31

* Población Total Promedio Anual

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Emisión CH₄ producción de excretas.

La producción de excretas que emiten los 88,54 animales tiene un mismo factor de emisión, que es 1, para ello se utiliza la ecuación 3, como se precia en la tabla la producción total kg (CH₄) de 1,859277 y total t CO₂ eq.

Tabla 14. Emisión CH₄ producción de excretas / gestión de estiércol de ganado en CO₂ eq (ton)

Subtotal de animales	Factor de emisión	Total, Kg (CH ₄)	Total, TON (CO ₂ eq)
97,14	1	97,14	2,04

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Emisiones directas de N₂O por producción de excretas

Lo correspondiente a emisiones directas de N₂O por gestión de excretas se puede visualizar por grupo, para el primer grupo se agrupa Machos (recién nacidos) y hembras (recién nacidos) reciben el mismo proceso, confinamiento en la totalidad del tiempo, caso contrario a hembras en gestación o secas y novillas que se encuentran en pastoreo la totalidad de su tiempo, para las vacas lecheras como para las terneras se encuentran en diferentes horarios en pastoreo, tal cual se especificó en Tabla 9.

Tabla 15. Emisiones directas de N₂O por pastoreo y confinamiento en CO₂ eq (ton)

Grupo de animales	Valores	CO₂ eq (kg)	CO₂ eq (ton)
Recién nacidos (machos y hembras) y	Directo confinado	1,443	0,001
Hembras en crecimiento (de terneras a novillas)	Directo pastoreo	266,2	0,266
	Directo confinado	6,0	0,006
Hembras en crecimiento (novillas)	Directo pastoreo	3295,3	3,295
Hembra adulta lechera	Directo pastoreo	27832,3	27,832
	Directo confinado	0,0	0,000
Hembra adulta seca	Directo pastoreo	7604,5	7,604
TOTAL		38733,7439	38,7337439

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que las vacas lecheras se encuentran en confinamiento alrededor un 40% del día, las emisiones por confinamiento son 0, ya que el factor de emisión del tipo de sistema es de 0 como se explicó en la Tabla 16. “Se considera que las emisiones son insignificantes debido a la ausencia de formas oxidadas de nitrógeno que entren a los sistemas en combinación con un bajo potencial para la nitrificación y desnitrificación en el sistema” (IPCC, 2006, p.10,67)

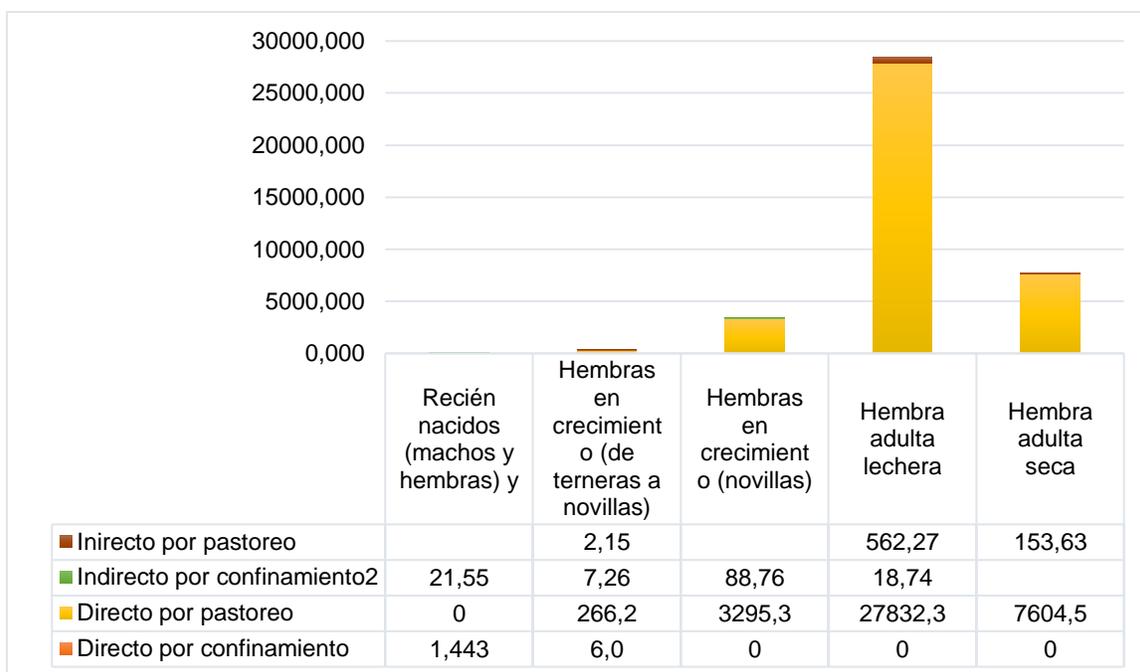


Figura 20. Emisiones directas N₂O por producción de excretas y grupos (CO₂ eq kg)

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Emisiones indirectas de N₂O por producción de excretas

Lo correspondiente a emisiones indirectas de N₂O por gestión de excretas en proceso de pastoreo o confinamiento, especificado en la tabla 9.

Tabla 17. Emisiones indirectas de N₂O por pastoreo y confinamiento en CO₂ eq (ton)

Grupo de animales	Valores	CO ₂ eq (kg)	CO ₂ eq (ton)
Recién nacidos (machos y hembras) y	Indirecto confinado	21,5	0,022
Hembras en crecimiento (de terneras a novillas)	Indirecto pastoreo	2,2	0,002

	Indirecto confinado	7,3	0,007
Hembras en crecimiento (novillas)	Indirecto pastoreo	88,8	0,09
Hembra adulta lechera	Indirecto pastoreo	562,3	0,56
	Indirecto confinado	18,7	0,019
Hembra adulta seca	Indirecto pastoreo	153,6	0,15
TOTAL		854,35	0,8543

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Emisiones de N₂O de suelos gestionados

Para este caso se recuerda que se trata únicamente de la gestión del estiércol que se recoge diariamente con una cama de aserrín en el confinamiento de las terneras o hembras en crecimiento y terneros donde pasan la mayoría de su día.

Se recuerda que de acuerdo con la tabla 10 la aplicación en líquido o fango que se realiza de lavado de las excretas en el sistema de producción, si no tiene un factor de emisión, ya que estas emisiones se consideran insignificantes debido a la ausencia de formas oxidadas de N que entren en los sistemas y además como un bajo potencial para la nitrificación y desnitrificación del sistema.

El resultado de los suelos gestionados es de 0,050 CO₂ eq (ton) emisión esperable ya que se trata de animales en crecimiento y pocos.

Tabla 18. Emisiones de N₂O de suelos gestionado en CO₂eq (ton)

N MMS_aVB	N ₂ O	CO ₂ eq (kg)	CO ₂ eq (ton)
0,1028755	0,191462562	0,3	93,3

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Emisión de CO2 por uso de combustibles

Para este caso los combustibles se utilizan en gran medida para transporte como se describe cada tipo de vehículo:



Figura 21. Uso de combustibles por vehículos

Fuente: Elaboración propia.

Además, se cuenta con 3 equipos de uso para limpieza y agrícola:

- Moto guaraña: Utilizada para cortar pasto alto en las rondas
- Hidro lavadora: Utilizada para lavar la lechería (pisos y azulejos) y los carros
- Sierra: Utilizada para hacer cortar árboles que se caen e impiden el paso, ramas de manera preventiva y postes para hacer cercas.

En base a las actividades sus emisiones son:

Tabla 19. Emisiones por combustibles en el sistema de producción

COMBUSTIBLE	CANTIDAD EN LITROS	GEI	FACTOR DE EMISIÓN	PCG	TOTAL (t C ₂ O)
Consumo De Gasolina	104	CO2	2,231	1	0,232
		CH4	0,000907	21	0,002
		N2O	0,000283	310	0,009
	SUBTOTAL				0,243
Consumo De Diesel	176	CO2	2,613	1,0	0,460
		CH4	0,000149	21	0,001

		N2O	0,000154	310	0,008
	SUBTOTAL				0,469 CO₂-equivalente
Consumo Gasolina Equipos Menores	104	CO2	2,231	1	0,232
		CH4	0,000346	21	0,001
		N2O	0,00002211	310	0,001
	SUBTOTAL				0,233
TOTAL					0,469 CO₂-equivalente

Fuente: Elaboración propia en base a la Calculador de Carbono de Ortiz, 2021.

Como se explicó en el Capítulo III sobre el Marco Metodológico, cada tipo de emisión tiene un factor de emisión que es dado por el IMN de acuerdo con el GEI, la multiplicación de la cantidad por el factor que debe de ir dividido por la unidad de medida y posterior se multiplicará por el PCG correspondiente para ofrecer la cantidad en CO₂-equivalente, que es un total de 0,469 CO₂-e.

4.3. Emisión de CO₂ por uso de electricidad

Para este cálculo se requiere la cantidad en kWh de electricidad para lo cual se solicitó en las oficinas centrales del ICE sede San Ramón por la persona propietaria.

A lo que se indicó que, para el trabajo de los medidores se trabajan diferentes partes del funcionamiento de la finca como son:

- Equipo de ordeño: diariamente se utiliza por 5 horas promedio en dos diferentes momentos de ordeño.
- Tanque y bomba de aguas verdes o deyecciones: que almacena por pocas horas al día para ser utiliza como fertirriego.
- Máquina de cortar el forraje: (gramíneas de corte y acarreo ("pasto de corta") antes de qué este insumo alimenticio llegué a la máquina, paso por el proceso de corta a mano por trabajadores y transporte en distancias cortas por los vehículos.
- Iluminación: Entre un ciclo de ordeño y otro, las vacas deben descansar en promedio 8 horas, es por ello y los tiempos de las personas trabajadoras, que suelen realizarse en momentos de la madrugada y la tarde, principalmente por el primer ciclo es que se debe tener una iluminación óptica, ya que antes

de que se utilice el equipo de ordeño debe de llevarse un proceso de lavado y desinfección de la ubre de la vaca.

- Tanque de enfriamiento: La leche se vende fresca y cruda a diferentes comerciantes su entrega se realiza en el sitio o bien, 2 veces a la semana se transporta la cantidad del tanque de enfriamiento al lugar de compra.
- Cerca eléctrica: Los apartos se encuentran divididos eficientemente en áreas adecuadas a la cantidad animal y para su facilidad se establecen cercas eléctricas que se utilizan sólo con los animales se encuentran pastando, en caso de las vacas lecheras una 1/3 parte del día y en el caso de las novillas (hembras en crecimiento cerca de ser adultas) que se encuentran en finca Alto Villegas se utiliza todo el día y noche.

No se tiene conocimiento específico la cantidad de electricidad por actividad, pero si la totalidad que suma 12 151 kWh que representan **0,486 CO₂-e ton.**

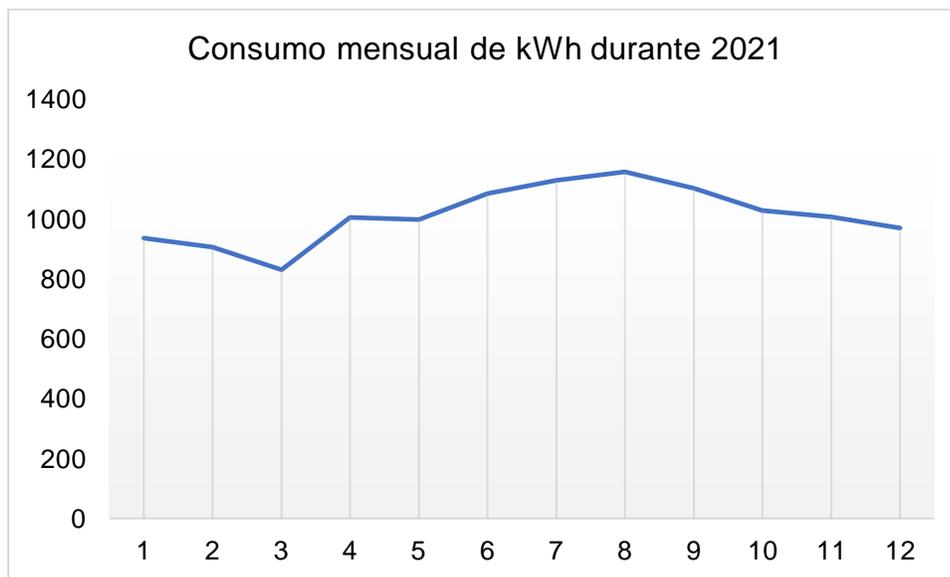


Figura 22. Consumo mensual de kWh durante 2021 en sistema de producción

Fuente: Elaboración propia con datos del ICE, 2022.

4.4. Emisión CH₄ por aguas residuales

Este cálculo es sencillo gracias a los factores de emisión del IMN que permite hacer una multiplicación simple entre la cantidad de personas, el factor y PCG para

dividirlo entre 1000 para que se encuentre en toneladas, representa un **0,368 CO₂-e ton.**

Tabla 20. Emisiones por aguas residuales

ITEM	CANTIDAD	GEI	Factor de emisión	PCG	Total (Ton co2 e)
Tanque séptico	4	CH4	4,38	21	0,368

Fuente: Elaboración propia

4.2. Emisiones equivalentes con la producción de leche

La sumatoria de todas las emisiones directas e indirectas se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 21. Emisiones totales en Ton CO2 eq

Fuente de Emisión	Cantidad en (Ton co2 e)	Participación porcentual
Combustibles	0,945	0,49%
Fermentación entérica	149,890	77,49%
Manejo de estiércol	41,742	21,58%
Consumo de electricidad	0,486	0,25%
Aguas Residuales	0,368	0,19%
TOTAL	193,431	

Fuente: Elaboración propia.

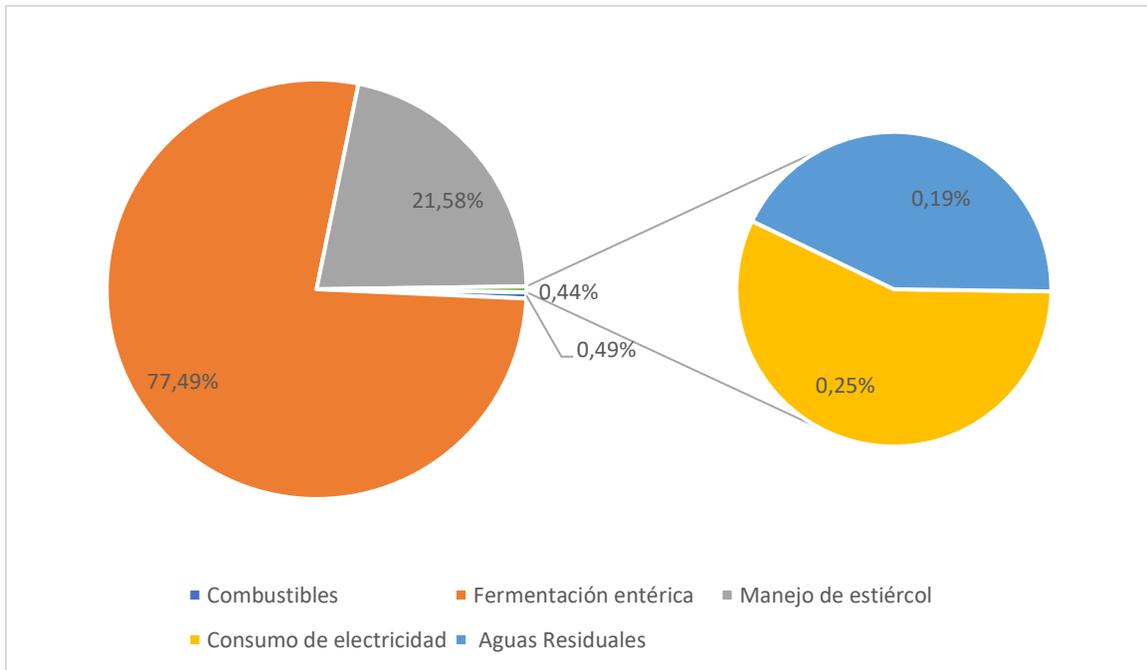


Figura 23. Emisiones totales en Ton CO₂ eq

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciarse, el sistema de producción en análisis presenta pocas fuentes de emisión ya que no utiliza fertilizantes, y no hay cambios de usos del suelo, y aunque mensualmente el consumo energético es significativo, el factor de emisión es bajo y hace que ello no se aprecie como una gran fuente, contrario con los combustibles que pese a que su factor de emisión es alto, la cantidad que se utiliza no es alta debido a la cercanía y que no es necesaria maquinaria agrícola, más que pequeñas maquinas.

Era de esperarse que la fermentación entérica abarca la mayoría de las emisiones de diferentes estudios que se han hecho y este no es la excepción, el metano procedente de la fermentación entérica es la mayor fuente de emisiones de GEI en la producción de rumiantes, (Gerber et al. 2013) además este gas supone una pérdida de hasta el 12% de energía bruta ingerida por los rumiantes lo que provoca una disminución de la productividad y la eficiencia económica de las explotaciones.

Este es un dato que permite dimensionar que la huella de carbono anual del sistema en estudio es de 193,43 Ton CO₂e, la cifra se queda corta puesto que para un análisis e interpretación debe de compararse con otros sistemas de producción o similares, pero un

factor más específico para valorar la cadena de valor es el factor corregido de leche por contenido de grasa y de proteína, como se expresó en la ecuación 2, ese producto de leche con 4.59% de grasa y 3,42% de proteína suma 287 122,32 kg producidos durante el año en estudio (2021).

Para poder dimensionar las emisiones anuales por la producción, se procede a dividir las emisiones directas e indirectas en kg, 193 431,2279kg CO₂eq entre el factor corregido, FPCM: 287 122,32kg lo que define que es **0,81 kg CO₂e/kg leche FPCM.**

Un resultado que es mejor rendimiento que los encontrados en la revisión literaria, para una investigación académica estudiantil en la lechería del TEC, sede San Carlos se había determinado 1.474 kg CO₂e/kg leche FPCM en 2015. (Quirós, 2015).

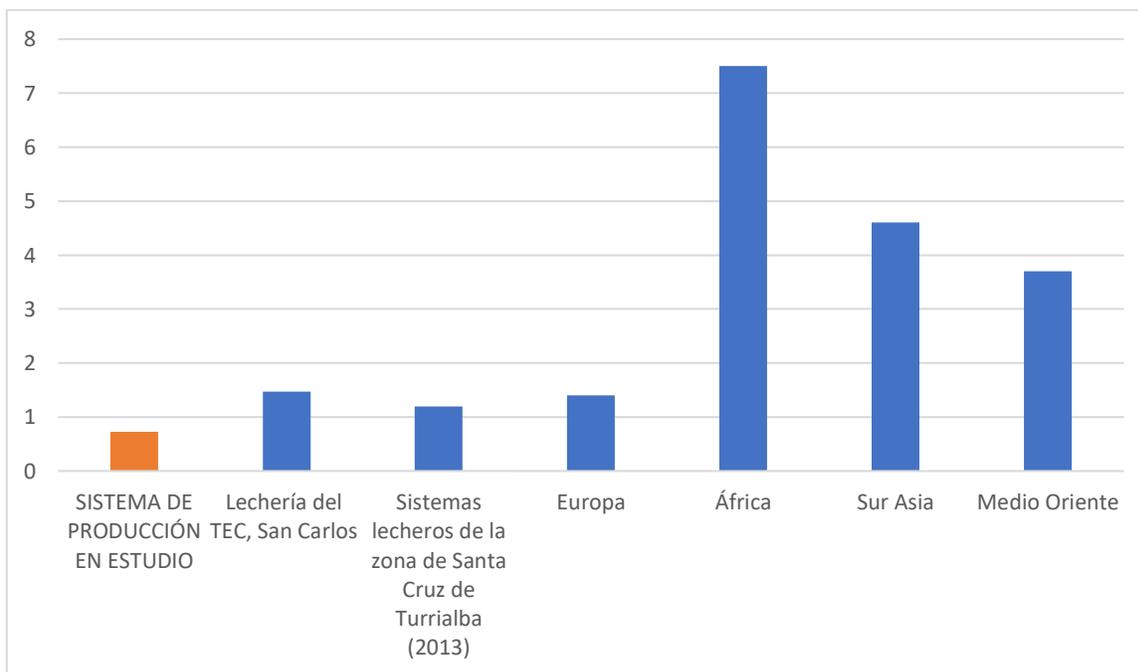


Figura 24. Comparación de diferentes resultados de CO₂e/kg leche

Fuente: Elaboración propia con datos de (Guerra 2013, citado por Quirós, 2015, p. 46 y Martín, M (s.f.)

En términos absolutos, la mayor intensidad de emisiones se produce en el África subsahariana, con un promedio de 7,5 kg de CO₂-eq/kg FPCM, mientras que los valores más bajos se han estimado para las regiones industrializadas, entre 1 y 2

kg de CO₂-eq/kg FPCM (1,4 kg de CO₂-eq/kg FPCM para Europa). El sur de Asia, el oeste de Asia y el norte de África y América Central y del Sur tienen niveles intermedios de emisiones, estimados entre 3 y 5 kg de CO₂-eq/kg FPCM. (Prenafeta y Fernández, 2021)

Más recientemente, un estudio realizado entre 2017 y 2018 midió la intensidad de las emisiones en 10 sistemas de producción bovinas en Galicia, España de tipologías diversa, que tenían una media de 111 vacas en ordeño y unas 59 hectáreas de superficie, menos de lo que la presente investigación presenta. (Martín, s.f.)

Encontraron que la intensidad de las emisiones de GEI a la salida de la granja fue en promedio de 0,99 kg CO₂-eq/kg de leche (en la fuente consultada no se especifica la referencia de la unidad funcional), con un rango de valores de entre 0,84 y 1,32 kg CO₂-eq/kg de leche, el mismo estudio concluyó que las ganaderías de producción ecológica y de pastoreo tienen una menor intensidad de emisiones, con valores de 0,96 y 1,06 kg CO₂-eq/kg de leche, respectivamente. (Prenafeta y Fernández, 2021)

Aunado a ello identificó que, en los sistemas de producción bovina con silo de maíz, la intensidad de las emisiones puede ascender hasta los 1,13 kg CO₂-eq/kg de leche, No obstante, la investigación fue difundida, pero no se ha podido corroborar temas metodológicos. (Prenafeta y Fernández, 2021)

En su informe del 2010 la FAO concluyó que la mayor parte de las emisiones de GEI del sector lácteo se produce a nivel del sistema de producción, en sus propios límites, lo que se llama en inglés “farm-gate emissions”, con un promedio del 93% sobre el total, aunque existentes sus modificaciones en América del Norte, Europa Occidental y Oceanía, con valores entre el 78% al 83%, pero en las otras regiones se estima que puede ser más alto entre el 90% y el 99% del total, (Prenafeta y Fernández, 2021) ello es un punto valioso para comprender la responsabilidades de los productos alimenticios en temas de sostenibilidad.

International Farm Comparison Network (IFCN), tomando 117 sistemas lecheros modelo de vacuno estandarizadas a nivel mundial que representan 45 regiones

lecheras en 38 países, realizó un estudio que, entre otros datos, estima que la contribución de la producción de leche de vaca a las emisiones antropogénicas globales de GEI equivale al 2,65% de las emisiones totales (1,3 Gt CO₂-eq/año). (Prenafeta y Fernández, 2021)

4.3. Acciones de reducción de GEI

Existen diferentes acciones para poder reducir los gases de efecto invernadero para todas las organizaciones incluso para las personas individualmente, empresas, familias, naciones.

Según la norma INTE/ISO 14064-1:2019 las organizaciones pueden planificar e implementar iniciativas de reducción de GEI para reducir o provenir las emisiones de GEI o aumentar las remociones de GEI.

Las iniciativas de reducción de GEI podrían incluir las siguientes:

- demanda y gestión del uso de la energía
- eficiencia energética
- mejoras en la tecnología o en los procesos
- captura y almacenamiento de GEI, habitualmente en un reservorio de GEI
- gestión de las demandas de viajes y transporte
- sustitución o cambio de combustible
- aforestación
- minimización de los residuos
- uso de combustibles y materias primas alternativos (CMPA) para evitar la disposición en vertedero/relleno sanitario o la incineración de los residuos
- gestión de refrigerantes

(INTECO, 2019, p.21)

Específicamente con respecto a remociones o formas de mitigación, se reconoce que el eje principal de mitigación al cambio climático de Costa Rica es la gestión de su capital natural por medio de la reforestación, conservación de los bosques y la implementación de sistemas agroforestales, para ello explica el CATIE y MAG

(2010) que en ese sentido las fincas ganaderas alberga un amplio potencial como parte del servicio sistémico de regulación climática tanto la presencia de bosques como por la aplicación de sistemas silvopastoriles sin embargo aún quedan interrogantes que resolver en cuestión de conocer realmente el aporte de las fincas ganaderas para cumplir con este objetivo y para dilucidar los principales estrategias de reducción de emisiones de gases que se les hace responsables al sector, según (MAG, 2010)

Si bien las responsabilidades no deberían vincularse con ligereza, en medio de un problema que es global y que el sector agropecuario figura también como amenazado, en medio de esa situación se puede puntualizar en el gran potencial, incluso comprobado de que sus fuentes de remoción igualan o sobrepasan sus fuentes de emisión.

4.3.1. Carbono neutralidad en sistemas de producción bovina

La huella de carbono se refiere a la cantidad total de emisiones de GEI asociada a un producto a lo largo de las cadenas de suministro de este; se expresa generalmente en kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq.) por unidad de producto. (Gerber, 2013)

“En esencia, un producto o servicio con una huella de carbono cero es aquel que tiene un impacto cero en el clima. Adicionalmente, todas aquellas emisiones que no puedan ser reducidas en su fuente, deben ser compensadas por medio de proyectos forestales o mediante la compra de certificados de carbono de alguna índole, de tal manera que el balance final llegue a ser cero.” (MINAE, 2009)

La carbono neutralidad (C-Neutral) es una ecuación matemática que debe dar 0 (cero), el resultado de la ecuación se le llama balance, corresponde a la resta de las emisiones antrópicas de CO₂e (dióxido de carbono emitido) y la capacidad de absorción y emisiones evitadas de CO₂, ello implica los sumideros. (MINAE, 2009)

La Universidad EARTH, con sede en Costa Rica, definió que Carbono Neutralidad como el balance entre la cuantificación de las emisiones y las acciones de reducción

y remoción/compensación de gases efecto invernadero (GEI) de una organización en un periodo verificable. (Rodríguez, 2016)

En 2016, dos fincas ganaderas en el país, una dedicada a la reproducción genética y otra a la ganadería de carne lograron su certificación C-Neutral Jimena Rodríguez documento ambos procesos en el documento *Proceso Certificación C-Neutral de una Finca Ganadera en Costa Rica* promovido por el Programa Nacional de Ganadería, del Ministerio de Agricultura y Ganadería, ente encargado de articular los actores del proceso, bajo el marco NAMA en el sector ganadero costarricense y el Instituto Nacional de Innovación y Trasferencia Tecnológica Agropecuaria (INTA), allí se explica una norma ISO que ya no es vigente, pero funciona de referencia ante los escasos estudios en esta vía. (Rodríguez , 2016)

Según Rodríguez, el primer paso para lograr la carbono neutralidad es que el propietario y/o administrador de la finca esté comprometido con la causa y se planteé como meta alcanzar la certificación, ya que el proceso es completamente integral a la finca y se requiere de minucioso orden; se debe crear una línea base de un año (de enero a diciembre) aunque en la nueva normativa ISO se puede utilizar un trimestre de referencia y de allí potencializar. (2016)

Posterior se debe realizar un Plan de Acciones Correctivas (PAC), asistencia técnica y todo el proceso que conlleva la presentación de dichos informes como el insumo económico para hacerle frente a la inversión y lograr las revalidaciones anuales. (Rodríguez , 2016)

A continuación, se describe posibles emisiones y remociones que realizaron los especialistas Abarca y Soto (2015) citados por Rodríguez, 2016 para validar la carbono neutralidad:

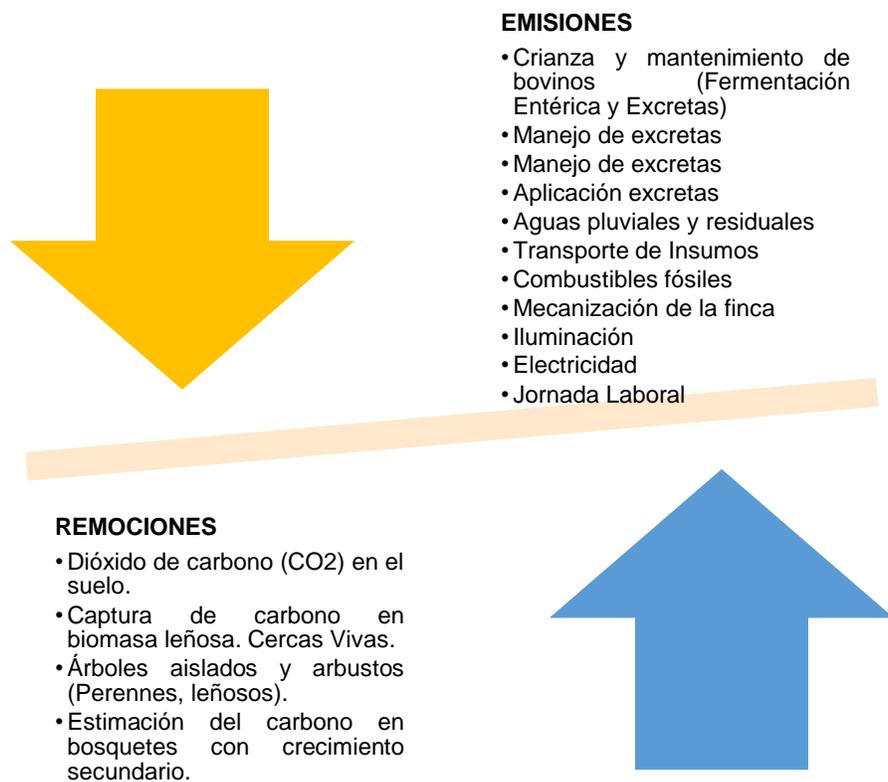


Figura 25. Emisiones y remociones en una finca ganadera.

Fuente: Elaboración propia con datos de Abarca y Soto (2015) citados por Rodríguez, 2016

En la tabla 6, se especifican estudios recientes sobre el mismo cálculo para diferentes casos de estudio en región Chorotega, Brunca (sur), incluso el TEC que figura 2 veces y el caso anteriormente citado, en todos los casos se ha comprobado que se puede emitir como remover esos GEI vinculados a la producción animal ganadera, y no deja de ser un estudio que pueda ser pertinente para el sistema de producción es estudio, sin embargo la carbono neutralidad no puede obedecer a ser un fin en sí mismo, desarrollar la carbono neutralidad no es el final de la ecuación.

MAG (2010) lo comenta como la potencialización junto al capital natural para incorporar beneficios asociados, belleza en el paisaje, o incluso la monetización del carbono, sea en Pago de Servicios Ambientales, o incluso con la posibilidad de ofertar en el mercado de carbono, que ha demostrado gran dinamismo en los últimos años.

Rodríguez (2016) afirma que alcanzar la carbono neutralidad puede traer beneficios a las fincas que funcionan con una alta visión empresarial, como las mencionadas que aplicaron su certificación, “para aquellos sistemas productivos que tienen una agro cadena que incluye la comercialización y el mercadeo directo de los productos terminados, la certificación constituye una diferenciación importante en nichos de mercado específicos” (p.48)

No obstante, la misma autora explica que este tipo de sistemas no representan el grueso de los productores del país, que más bien obedecen a ser PYMES y venden sus productos a intermediarios o bien en baja escala a poblaciones donde no se reconoce aún la diferenciación.

Frente a otras opciones no agrícolas como sectores de energía, transporte y silvicultura las opciones de investigación en la agricultura resultan competitivas en cuanto a costes para alcanzar los objetivos climáticos a largo plazo (2100), se enfatiza en cultivos y ganadería sin CO₂ dos para que puedan aportar de manera rentable a 270-1520 MtCO₂-eq/año en todo el mundo en 2030 con precios del carbono de hasta 20 dólares/tCO₂-eq y 640-1870 MtCO₂-eq/año con precios del C de hasta 50 dólares/tCO₂-eq.ago (IPCC, 2019)

4.3.2. Propuestas de acciones de disminución y prevención de GEI para producción responsable y sostenible

Para construir las propuestas se consideraron los estudios citados anteriormente que permitieron ofrecer diferentes acciones rentables, viables y sostenibles que colaboran en la disminución y prevención de GEI, gracias a esa identificación y amplias explicaciones de diferentes autorías se permitió reconocer acciones de esta naturaleza que el sistema de producción ha implementado, pero que se sugiere puede mejorar en varias temáticas.

Acciones que comenta la literatura son opciones en el sector agro para disminución o prevención de GEI, comprenden opciones agrícolas y forestales como dietas sostenibles y menor desperdicio de alimentos (FAO, 2017) secuestro de carbono en

el suelo; aprovechamiento del estiércol; reducción de la deforestación; forestación y reforestación; y abastecimiento responsable. (IPCC, 2019)

Una misma práctica para reducir las emisiones puede tener menos o mayor efectividad, o hasta ser contraproducente dependiendo de los lugares, por lo que en este apartado no se puede ofrecer una lista de prácticas de mitigación de aplicación universal; además de las dimensiones sociales, económicas y culturales, también se deben de recordar las variables técnicas que involucran prácticas deben ser evaluadas para cada sistema agrícola en función en función del clima, la edafología, el entorno social y los patrones históricos de uso y gestión de la tierra, entre otras. (Gerber, 2013)

Se especifica una lista con la temática, acciones que se encontraron el sistema implementadas, justificación de acuerdo con la reducción y prevención de GEI vinculado al objetivo de disminuir GEI en una producción sostenible y responsable basada en el ODS 12 y propuestas de acciones que podría implementar.

Como se ha especificado ese objetivo mundial habla acerca de la eficiencia del uso y la gestión de recursos naturales, acciones que se han repasado en la presente investigación y que incluyen también otras metas como efectos ambientales, gestión de residuos y la liberación de contaminantes, entre otros.

Tabla 22. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Registros y genética.

Registro de actividad del ganado y su genética	
Acciones implementadas	Justificación
Implementación de la inseminación artificial. Además de mayor orden de celos, intervalos entre partos, cruces de genética “Chumecas” (Pérez, 2017)	Disminución de fermentación entérica y gestión del estiércol en un sistema de producción con la inexistencia de un animal alrededor de 500 kg que multiplicado por su factor de emisión por fermentación entérica de 111,70 (IMN, 2022) serían 2,3457 de TON (CO2 eq)

	que no se están dentro de los límites de la organización.
Aunque no es un tema que se pudo analizar en esta investigación, el sistema de producción es parte de <i>Estudio Comparativo de la Genética Lechera Neozelandesa basada en Pasturas, con otras líneas genéticas utilizadas en sistemas de producción de leche representativos en Costa Rica</i> , sin embargo se Durante el año 2021 realizaron inseminaciones con la genética gyr lechero para mejorar el hato y considerar venta de animales que son mejor pagados que las razas comunes lecheras, ya que la tasa de hembras y machos es cercana al 50% uno con otro, y los machos deben de ser vendidos o bien ofrecer un valor agregado.	Se debe reconocer que es una buena posibilidad valorar cruces de genética (como los chumecas (Pérez, 2017) que enfatizan el pastoreo porque los insumos nutricionales están valorados por encima del 50% de los costos de un sistema de producción (Calvo O, 2021) lo cual relaciona a estos sistemas a una alta dependencia de materias primas que en su mayoría no se consiguen en el país, sino que son importadas como es el caso de los alimentos concentrados con alta presencia de maíz.
Propuestas:	
<p>A. Mejorar el registro de animales con revisiones periódicas para que las vacas presenten un adecuado intervalo entre partos (IEP), identificación de la pajilla y la genética que proviene, de ser posible con software para ese propósito, de manera que la información se encuentre segura.</p> <p>B. Identificar con aretes a las hembras en crecimiento de acuerdo con su genética. Para el 2021 no se pudo realizar registros por peso, dieta y partos de manera estricta para medir con menos incertidumbre fermentación entérica y gestión del estiércol a falta del registro.</p> <p>C. Valorar la continuidad de la inseminación artificial como método reproductivo, la planificación genética es una mejora para la lecharía. (FAO, 2017)</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Excretas como dieta, fertilizante y fermentación

Gestión del estiércol o excretas del ganado (dieta y fertilizante)

Acciones implementadas	Justificación
<p>Aplicación de deyecciones en fresco en forma de purines por el lavado con agua del corral a los pastizales de cultivo.</p> <p>No hay fertilización por abonos nitrogenados, ni aplicaciones con urea ni cal, aunque son conocidas y se afirma que se utilizan en casos extremos relacionado a eventos climáticos que les haya afectado.</p> <p>Algunas escasas ocasionadas se ha realizado la aplicación de agua a las excretas producidas en pastoreo, pero no se dejó de realizar por factor humano y tiempo.</p>	<p>La aplicación rápida y eficiente reduce significativamente las emisiones de GEI (Prenafeta y Fernández, 2021) incluso el proceso de emisiones de N₂O no se realizó por sus emisiones se consideraban insignificantes. (IPCC, 2006)</p> <p>La adición de purines tiene un efecto positivo sobre la microflora del suelo, hay un efecto de enriquecimiento de la biomasa microbiana, resultante de adición de fuentes de carbono (sustrato para el crecimiento de los microorganismos), como aporte de microorganismos presentes en el material aplicado. Básicamente constituyen un fertilizante de gran valor. (Salas y Uribe, 2008)</p> <p>Aunque no se pudo reconocer factores asociados a la remoción, como biomasa en subsuelo y carbono orgánico en suelo que pudiera demostrar si la aplicación del estiércol a los forrajes tiene impacto sobre el aumento de COS, se puede reconocer factores asociados que disminuyen GEI, debido a que no se requiere preparar otras enmiendas a los forrajes de corte y acarreo como urea, cal o incluso fertilizantes nitrogenados.</p>
<p>La dieta que reciben todas las poblaciones de ganado obedecen gran medida al pastoreo de estrella africana (<i>Cynodon nlemfluensis</i>) pero también a un desecho de otra cadena de valor que se llama poliniza (5kg vacas lecheras), buena mezcla de la granja con excretas de pollos de engorde, además las vacas lecheras reciben cáscara de plátano (2kg) insumo que es desechado por la cadena de valor del plátano e incluso también presenta en menores cantidades</p>	<p>La incorporación de la economía circular y cómo los residuos de otras cadenas de valor son insumos para esta cadena, sin embargo, se desconoce las emisiones que tienen estos productos a lo interno de la organización y su repercusión positiva o negativa que puede tener en las emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol de los animales.</p> <p>“Suplementación de la dieta con lípidos de origen vegetal, Uso de alimentos</p>

<p>yuca, además de melaza (insumo que se produce posterior a la cadena de valor de la caña de azúcar) como suplementos a su nutrición.</p> <p>Todas las poblaciones reciben alimento concentrado.</p>	<p>proteicos producidos localmente u obtenidos a partir de subproductos” (Gerber, 2013)</p>
<p>Propuestas:</p>	
<p>A. Continuar con el proceso de aplicación de deyecciones, aunque aún se tengan limitaciones metodológicas para medir sus eventuales emisiones.</p> <p>B. Gestionar la producción de discretas que se realiza en el pastoreo de ser posible para que pueda tener el mismo efecto que con las aplicaciones del corral.</p> <p>C. Considerar medir la presencia de carbono orgánico en el suelo (COS) con especial atención de las áreas que son tratadas con este suplemento como fertilizante.</p> <p>D. Considerar aumento de mayor conservación de forrajes y ensilados, de manera que a adquisición de materia verde no sea limitada por condiciones climáticas u otras y se deba suplementar con alimentos caros y con alta huella de carbono.</p> <p>E. Adicionalmente considera la utilización de aditivos autorizados que reduzcan el nitrógeno incrementado y la volatilización, así como uso de aditivos y probióticos que actúan sobre el desarrollo ruminal en las edades tempranas del animal.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Análisis de acciones implementadas y propuestas para disminuir GEI: Sumidero rentable

Sumidero rentable	
Acciones implementadas	Justificación
<p>De acuerdo con la tabla cuatro la presencia de árboles dispersos y bosques secundarios se refleja en 64 578,39m, 9,2 manzanas, que significa 6,5ha, ello significa alrededor del 18% de todo el sistema de producción, de cercas vivas que son más de 3000m.</p>	<p>Aunque se debe cuantificar para tener claridad de la de las posibles remociones y sus dimensiones se debe reconocer que los árboles dispersos en cercas vivas y en los potreros mejoran la fertilidad del suelo reducen la erosión protegen fuentes de agua contribuyen a la fijación de carbono y contribuyen a la</p>

<p>Además, el año anterior se ha dispuesto 1500m para conservar y no se tienen registros de la última vez que se realizaron deforestaciones.</p> <p>Algunas de las especies de árboles y relacionados son: Guarumo (<i>Cecropia peltata</i>), Higuerón (<i>Ficus luschnathiana</i>), Guaba (<i>Inga edulis</i>), Güitite (<i>Lochroma arborescens</i>), Poró (<i>Allium porrum</i>) Guachipelín" (<i>Diphysa americana</i> (Mill.), Madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>), limón (<i>Citrus limon</i>) Guayabos (<i>Psidium guajava</i>), ratoncillo (<i>Blakea gracilis</i>) Targua (<i>Croton gossypifolius</i>) entre muchos más.</p> <p>Se presenta una plantación de fruta tipo cas (<i>Psidium friedrichsthalianum</i>) con más de 30 años y con más de 50 árboles.</p> <p>Tiene varias nacientes de agua, especialmente en invierno y le atraviesa un río principalmente, la conservación se esos árboles tienen una estrecha relación con la conservación de fuentes de agua, que es captada para llegar a los diferentes potreros y corrales.</p> <p>La presencia de fauna salvaje convive en los habitas, se han permitido ver osos perezosos, congos y felinos de gran tamaño.</p>	<p>conectividad y genera ambientes propicios para la biodiversidad. (MAG, 20109)</p> <p>En el proceso de investigativo se consultó acerca de las cercas vivas, a lo que también se comentó que la presencia de algunas especies de árboles no es adecuada para cercas vivas puesto que con el viento se mueven y con ello aflojan las grapas que sujetan el alambre que divide los potreros, por lo que se reconoce que las cercas vivas pueden ser más, se debe investigar mejor su implementación en altitud, vientos y otros factores.</p>
<p>Propuestas:</p>	
<p>A. Rodriguez (2016) reconoce el aporte y existencia de Poró (<i>Erythrina berteroana</i>), sin embargo, se recomienda incursionar nuevas especies que aporten nutricionalmente a la dieta de los animales, por lo que se pueden incrementar las cercas vivas con botón de oro (<i>Tithonia divesifolia</i>), también llamada falso girasol y tora amarilla. contenidos altos de proteína, se adapta a suelos poco fértiles, su follaje es muy digestible. Produce entre 90 a 130 toneladas de materia verde con ciclos de poda no menores a 50 días. En las fincas se propaga en forma vegetativa por esquejes de 25 a 40 cm de largo y es de fácil establecimiento en la época de lluvia (Arronis, 2013)</p> <p>B. No se registraron tampoco procesos de reforestación para lidiar con la erosión que se encuentra presente protección y conservación de algunos lugares dañados por eventos climáticos y en general por el mejoramiento de la fertilidad del suelo, sin embargo, la organización obtuvo 200 árboles en coordinación con el vivero del ICE y sus campañas voluntarias, a lo que se recomienda siembra de árboles endémicos y su atención para los primeros años de vida.</p>	

C. Se debería de cuantificar el aporte de biomasa que están realizando los árboles en forma de plantación cercas vivas o dispersos en los potreros, así como el bosque secundario con el fin de explorar su captura de carbono y medirla constantemente para hacer mejoras o para una eventual certificación como carbono neutro. (FAO, 2017)

Fuente: Elaboración propia.

La lista de acciones como de sus propuestas se realizó en base a la experiencia en campo con el sistema de producción en estudio integrándolo con la teoría descrita a lo largo del documento. Son una serie de ideas que se pueden implementar en diferentes sistemas de producción, pero se debe reconocer que cada sistema tiene sus propias fortalezas y mejoras y las acciones deben dirigirse de acuerdo con sus recursos existentes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los temas de cambio climático no se pueden tomar con ligereza cuando se trata de poblaciones rurales y poblaciones que pertenecen al sector agrícola o agropecuario, referido a crear responsabilidad sobre sus emisiones cuando vienen arrastrando diferentes circunstancias de vulnerabilidad climática, económica, social y cultural. Se apreciaba en la literatura la preocupación urgente por la reducción de emisiones GEI sobre todo en la ganadería que es la que mayormente contribuye a las emisiones de Agricultura, pero se pierde de vista las mencionadas vulnerabilidades y qué más que crear remociones también pueden y deben crear producción responsable y sostenible que mejore la gestión de los recursos naturales existentes y su potencial de fortalecerlos conservarlos a futuro.

Las huellas de carbono se asumen como números fríos, sin considerar que hay millones de manos conectadas desde la ruralidad como motor de impulso en modelos de desarrollo que ya arrancaron, aunque el debate sea largo con respecto a las limitaciones éticas y ambientales sobre los productos origen animal, hay una

realidad innegable y es que la producción de leche puede emitir como remover sus GEI, posibilidades que otros sectores con menores emisiones no pueden realizar, y que como si fuera poco produce alimentos para las demandas crecientes, y es que ni el hambre ni el peligro a la escasez de alimentos son advertencias sin fundamento.

Perseguir la ecuación cero que significa la carbono neutralidad no aplaca la cantidad de emisiones que se ejercen, si bien la justicia climática queda corta y la emergencia climática es una realidad que golpea con mucha fuerza el globo pero que enfatiza sobre la agricultura y la ganadería, y eso hace que los alimentos de todas las personas corran peligro y que se suma a una larga lista de pendientes y tareas del sector que no resiste que le exijan reducciones cuando se requiere que esas acciones sean comprensibles, factibles, viables y si, reduzcan GEI y las posibilidades de no proveer alimentos.

¿Es la ganadería la encargada de muchas emisiones que provocan el cambio climático? ¿es la ganadería proveedora de alimentos de calidad? ¿puede la ganadería reducir sus emisiones, como todos los demás sectores? ¿pueden esas acciones de reducción de GEI colaborar a mejorar sus rendimientos como actividad? ¿puede la ganadería ofrecer productos más responsables y sostenibles?

5.2. Recomendaciones

Se sugiere a las personas productoras participantes de la investigación, valorar las propuestas y análisis para disminuir GEI en el sistema de producción bovino lechero de manera que sumen en la producción sostenible y gestión viable y rentable.

Es probable que los diferentes sistemas de producción se encuentren realizando acciones de disminución de emisiones y no le llamen con ese nombre, al mismo tiempo que también se encuentren realizando acciones de adaptación.

La fermentación entérica es un proceso fisiológico de cual se puede suponer que no hay mucho control, sin embargo, para adecuar mejor esa interpretación se deben

realizar cálculos más exactos de acuerdo con su peso, su dieta y su actividad para valorar las disminuciones en las emisiones.

Se recomienda cuantificar fuentes de emisión con medidas sobre el peso e ingesta de los animales para tener más precisión sobre la importancia de la dieta y sus emisiones, además de los complementos para la rentabilidad y bienestar; así mismo de ser posible continuar con el proceso de cuantificar las fuentes de remisión con base a los resultados recopilados en el Sistema de Información Geográfica.

Se sugiere a las Universidades y casas de enseñanza a realizar investigaciones que puedan ser vinculantes con las personas participantes y brindar aportes o avances a la situación estudiada.

Se recomienda ampliar la visión sobre la situación de GEI relacionado a ganadería para emprender acciones para constituir producción responsable y sostenibles, pero a su vez con alto grado de viabilidad técnica y financiera.

6. REFERENCIAS

Arguedas, M (2010) La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5491?locale-attribute=en>

Bárcena et al, (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, Libros de la CEPAL, N 160 (LC/PUB.2019/23-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

Barquero, M (28 de junio, 2018). Consumo de leche por persona en Costa Rica supera en 52 litros el promedio mínimo recomendado. La Nación. Costa Rica. <https://www.nacion.com/economia/agro/consumo-de-leche-por-persona-en-costa-rica-supera/5IOWM2CSU5BCRNK5KQVEXAP6VE/story/>

Calvo, O. 2021. Estimación del costo de producción de un kilogramo de leche y sus variables más influyentes. Vol.7 N.º 2. Agronegocios, UCR. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/5682/5572>

Canet, 2015. Recuperación de la cobertura forestal en Costa Rica, logro de la sociedad costarricense. Ambientico 253. Pp. 17-22. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/26433/253_17-22.pdf

CEPAL, 2021. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las américas. FAO e IICA. San José, C.R.: IICA, https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47208/1/CEPAL-FAO21-22_es.pdf

Chacón et al (2015). Próximos pasos del NAMA Ganadería en Costa Rica Síntesis de las consultas con actores y evaluación rápida de su estado actual.

Escalante, J. (9 de marzo de 2021) Leche: propiedades, beneficios y valor nutricional. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20181106/4190/leche-propiedades-beneficios-valor-nutricional->

alimentos.html#:~:text=Seg%C3%BAAn%20la%20FEN%2C%20una%20dieta,buen a%20salud%20de%20los%20dientes.

De Miguel y Planelles, 2 de noviembre de 2021. 103 países se comprometen a reducir esta década un 30% sus emisiones de metano, el gas responsable del 25% del calentamiento. El País. España. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-11-02/la-cumbre-de-glasgow-acoge-un-pacto-internacional-contr-a-el-metano-el-gas-responsable-del-25-del-calentamiento-global.html>

Didier y Castro, 2016. Lechería climáticamente inteligente. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Costa Rica. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3012/BVE17068929e.pdf;jsessionid=A38FA68502538458375F5E54FB01C663?sequence=1>

FAO, 20 de Agosto 2022. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>

FAO, 15 de agosto del 2021. GLEAM 3.0: Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y el potencial de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/gleam/results/es/>

FAO, 2017. Livestock solutions for climate change. 8098EN/1/11.17. <https://www.fao.org/3/i8098e/i8098e.pdf>

FAO, 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra América Latina y el Caribe. <https://reliefweb.int/report/world/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-de-la-agricultura-silvicultura-y-otros-usos-de>

Gamboa, 2016. Estimación de las emisiones y captura de CO₂ en tres sistemas de producción dedicados a la ganadería de carne en la zona sur de Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.

Gerber et al, 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (FAO), Roma.

Hernández et al. 2014). Metodología de la Investigación. Mc Grill Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

IMN (MINAE) 2015. Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Quinta Edición 2015. Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factoresemision-gei-2015.pdf>

IPCC, 2006. Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. In: Directrices para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra) Capítulo 10. Grupo Intergubernamental de Cambio Climático. WMO/UNEP http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf

IPCC, 2006b. Metodologías Aplicables a Múltiples Categorías de Uso de la Tierra. In: Directrices para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra) Capítulo 2. Grupo Intergubernamental de Cambio Climático. WMO/UNEP http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf

IPCC, 2006c. Pastizales. In: Directrices para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra) Capítulo 6. Grupo Intergubernamental de Cambio Climático. WMO/UNEP

IPCC, 2019. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

MAG 2015. Estrategia para la Ganadería Baja en Carbono en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.

Martín, M (s.f.) Los gases de efecto invernadero y su repercusión en ganadería. Frisona Española. Volumen (201), 92-94. España. <https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n201/invernadero.pdf?ver=DV13u44XpqESVQiqjT4I4g%3d%3d>

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAE) 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático¹ ed. San José, CR: Editorial Calderón y Alvarado S. A. Costa Rica.

MINAE, s.f. Programa País Carbono Neutralidad (PPCN) de Costa Rica. https://cambioclimatico.go.cr/wpcontent/uploads/2021/05/PPCN%20Folleto%20general.pdf?_t=1618521827

MINAE, 2021. Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera Edición. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/cuartacomunicacionnacional/>

Montes de Oca y Arce, 2011. La huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y logro del carbono neutralidad. Tecnológico de Costa Rica.

OMN, 05 de mayo de 2022. Un año más, las concentraciones de gases de efecto invernadero volvieron a batir todos los récords. Organización Meteorológica Mundial.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 10 de agosto de 2022. Datos sobre el metano <https://www.unep.org/es/explore-topics/energy/datos-sobre-el-metano>.

ONU, 10 de agosto, 2022. What is climate change. UNEP <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

Prenafeta y Fernández (2021) Estudio sobre los gases de efecto invernadero en el sector lácteo. Organización Interprofesional Láctea (Inlac) y Research and Technology Food and Agriculture. <https://inlac.es/wp-content/uploads/2022/07/RY67T64.pdf>

Pérez, E. 2017. Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería de CRÍA. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10926.pdf>

Pérez, 2017b. Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería de leche. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica.

Pérez et al (2017). Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira, Tamaulipas. Revista de Sistemas Experimentales, 4(10), 34–40. www.ecorfan.org/bolivia

Quirós, G. (2015). Determinación de la huella de carbono y utilización de energía solar en unidades productoras de leche como alternativa al cambio climático en la región Huetar Norte De Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.

Rodríguez Moya, J. (2016). Proceso Certificación C-Neutral de una Finca Ganadera en Costa Rica. Proceso de Certificación. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10886.pdf>

Salas y Uribe, 2008. Evaluación del efecto de adición de aguas verdes (purines) en algunas características químicas, físicas y microbiológicas del suelo en la finca lechera hacienda terranova ubicada en Poasito, Alajuela. Centro De Investigaciones Agronómicas. Universidad De Costa Rica. <http://proleche.com/recursos/documentos/medioambiente/EVALUACION.pdf>

Soto, M. 10 de febrero 2015. Costa Rica quiere tener vacas que sean bajas en emisiones de carbono. La Nación. <https://www.nacion.com/ciencia/medio-ambiente/costa-rica-quiere-tener-vacas-que-sean-bajas-en-emisiones-de-carbono/54D3J4DYY5CH3CSKGF4FQGRI4Y/story/>

Soto, M. 24 de febrero de 2019. Costa Rica presenta plan para descarbonizar su economía al 2050. Red de Comunicación en Cambio Climático. <https://latinclima.org/articulos/costa-rica-presenta-plan-para-descarbonizar-su-economia-al-2050>

Vallejo et al, 2013. Guía metodológica para gestionar la huella de carbono en la industria cárnica. Deutsche Gesellschaft für. San José, Costa Rica.