Formulación de Estrategias para la Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero Provenientes de la Ganadería Lechera. Estudio de Caso Finca Villa Filomena

Leidy Viviana Trujillo Álvarez

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, octubre 24 de 2018

Formulación de Estrategias para la Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero Provenientes de la Ganadería Lechera. Estudio de Caso Finca Villa Filomena

Leidy Viviana Trujillo Álvarez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Luis Miguel Casabianca González

Línea de Investigación:
Gestión ambiental

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

A mis padres, que han sido un pilar fundamental durante todo mi proceso de formación, pues son quienes con su apoyo incondicional hicieron esto posible.

Agradecimientos

Agradezco al profesor Luis Miguel Casabianca por su orientación y aportes realizados durante el desarrollo de la presente investigación. A todos y cada uno de los profesores, quienes a través de mi paso por la Universidad estuvieron presentes en mi proceso de formación y dejaron huella.

Tabla de contenido

1. Introducción 11

2. Planteamiento del problema 12

3. Objetivos 13

3.1 Objetivo general 13

3.2 Objetivos específicos 13

4. Justificación 14

5. Marcos de referencia 15

5.1 Estado del arte 15

5.2 Marco teórico 17

5.2.1 Ganadería y cambio climático 17

5.3 Marco conceptual 18

5.4 Marco normativo 20

5.5 Marco geográfico 22

5.5.1 Descripción del territorio 22

5.6 Marco institucional 24

6. Metodología 25

6.1 Diseño metodológico de la investigación 25

6.1.1 Enfoque 25

6.1.2 Alcance 25

6.1.3 Métodos 26

6.1.4 Unidad de análisis 26

6.1.5 Diseño de investigación 26

6.1.6 Variables, técnicas e instrumentos de recolección de información 27

7. Plan de trabajo 34

7.1 Cronograma 35

8. Resultados 36

8.1 Objetivo específico 1. Diagnosticar a través de herramientas de recolección de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones de GEI, ... 36

8.2 Objetivo específico 2. Formular estrategias de reducción de GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema. 42

8.2.1 Manejo de la alimentación animal (mejoramiento de la calidad del alimento) 42

8.2.2 Modificación del sistema ruminal 43

8.3 Objetivo específico 3. Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción de GEI estructuradas para la finca. 44

9. Análisis y discusión de resultados 46
10. Conclusiones y recomendaciones 47
12. Referencias 48
Anexos 53

Listado de tablas

Tabla 1. Resumen de la legislación Nacional asociada a ganadería, protección del medio ambiente y cambio climático. 20
Tabla 2. Variables y características para el tratamiento de la información. 31
Tabla 3. Cuadro metodológico de la investigación. 33
Tabla 4. Cronograma de actividades. 35
Tabla 5. Análisis del modelo FPEIR para la producción primaria de leche. 39
Tabla 6. Huella de carbono de la finca Villa Filomena. 41

Listado de figuras

Figura 1. Localización Municipio de Tocancipá (Cundinamarca). 23
Figura 2. Localización Finca Villa Filomena. 23
Figura 3. Variables de entrada y salida en el enfoque sistémico para la producción de leche (esquema general). 28
Figura 4. Esquema general del modelo FPEIR. 29
Figura 5. Datos de entrada para el cálculo de la huella de carbono en una lechería. 30
Figura 6. Planteamiento general de la hoja de ruta. 32
Figura 7. Etapas del proyecto investigativo. 34
Figura 8. Enfoque sistémico cualitativo de la finca Villa Filomena. 36
Figura 9. Factores de producción básicos para la finca. 37
Figura 10. Modelo cuantitativo del sistema finca Villa Filomena. 38
Figura 11. Modelo FPEIR para la producción primaria de leche finca Villa Filomena. 40
Figura 12. Emisiones totales por componente. 41
Figura 13. Hoja de ruta para la reducción de metano. 45

Resumen

La presente investigación aborda todo lo relacionado con el funcionamiento del sistema productivo de leche de la finca Villa Filomena, Tocancipá (Cund.) en la producción primaria de leche. La producción pecuaria es uno de los sectores que mayor repercusión tiene a nivel ambiental, ya que contribuye de manera directa e indirecta a la disminución de los recursos naturales y a la contaminación de ecosistemas. No obstante, es un pilar fundamental a nivel socioeconómico, lo que se constituye en una contrariedad que requiere de especial atención. La finalidad del proyecto es formular estrategias de reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), con el fin de que haya un mejoramiento en la productividad del territorio ganadero y a la vez, sirva de sustento para la puesta en marcha de proyectos en fincas ganaderas a nivel local que se enfoquen en la disminución de emisiones a la atmósfera, pues es un tema que concierne a grandes y pequeños productores. De acuerdo con el análisis de estudios enfocados en estrategias de mitigación de GEI generados por el ganado, fue posible la identificación de formas de reducción adecuadas para dichas emisiones que pueden ser puestas en práctica en el sistema productivo de la finca.

Palabras clave: Ganado de leche, Gases Efecto Invernadero, emisiones, recursos naturales, socioeconómico, reducción.

Abstract

This research addresses everything related to the operation of the production system of Villa Filomena farm, Tocancipá (Cund.) in the primary production of milk. Livestock production is one of the sectors with the greatest impact at the environment, since it contributes directly and indirectly to the reduction of natural resources and the pollution of ecosystems. However, it is a fundamental pillar at a socioeconomic level, which constitutes an inconvenience that requires special attention. The purpose of the project is to formulate strategies to reduce greenhouse gas (GHG) emissions, in order to improve the productivity of the livestock territory and at the same time, serve as a support for the implementation of projects on farms at a local level that focus on the reduction of emissions to the atmosphere, because it is an issue that concerns large and small producers. According to the analysis of studies focused on GHG mitigation strategies generated by livestock, it was possible to identify good ways of reducing these emissions that can be put into practice in the productive system of the farm.

Keywords: dairy cattle, Greenhouse Gases, emissions, natural resources, socioeconomic, reduction.

1. Introducción

La ganadería a nivel mundial tiene gran importancia económica. La cría de animales es una forma de subsistencia y de creación y acumulación de riqueza para los grandes productores, pero desfavorecedora para pequeños productores. Como actividad económica y social puede contribuir a la sostenibilidad alimentaria, en el contexto de una creciente escasez de recursos naturales y la aceleración del cambio climático si su manejo es óptimo (Gerber *et al.,* 2013). Un sector ganadero sostenible contribuye a la alimentación y la agricultura a través de un crecimiento viable en cadenas de valor con acceso a todos los recursos y servicios necesarios, y en el que las poblaciones pobres tienen garantizado su sustento.

De acuerdo con el proceso productivo por el que atraviesa actualmente el sistema de la finca Villa Filomena, con respecto al manejo que se le da a la ganadería, es posible la identificación de puntos clave para los cuales es necesario poner en marcha diversas estrategias que permitan la reducción de emisiones GEI generadas en el ciclo de la producción primaria de leche. Por consiguiente, el propósito fundamental del presente estudio es la formulación de estrategias que permitan la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) provenientes del ganado vacuno lechero. Lo anterior es posible de lograr a través del uso de herramientas de evaluación cualitativas y cuantitativas, que favorecen la realización de la caracterización de los componentes del sistema para así hallar de manera sencilla los puntos de especial atención.

Por esta razón, el documento que se presenta a continuación se estructuró de la siguiente manera: un primer capítulo, donde se trabajó todo el análisis situacional, que incluye el planteamiento del problema, la justificación y la formulación de los objetivos, tanto general como específicos. Un segundo capítulo del trabajo, dedicado al desarrollo de los marcos de referencia, donde se encuentra el estado del arte, una perspectiva teórica -con respecto a la ganadería y el cambio climático-, el marco conceptual, la descripción del territorio -donde se llevó a cabo el estudio-, el marco normativo y el marco institucional. Una tercera parte, dedicada al desarrollo metodológico para la puesta en marcha de cada uno de los objetivos específicos. Y un cuarto capítulo, donde se da a conocer los resultados obtenidos, el análisis y discusión de los resultados y las conclusiones y recomendaciones.

2. Planteamiento del problema

De acuerdo con la infraestructura actual de la finca, ligada al manejo de la ganadería, se identifican diferentes procesos susceptibles a mejoras para la reducción de GEI. Estos elementos son el principal foco de mejoramiento ya que no ha habido una actualización en la estructura de manejo ni una modernización de los procesos productivos. Por consiguiente, el presente estudio tiene como propósito formular estrategias que permitan la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) provenientes del ganado vacuno lechero en la Finca Villa Filomena, ubicada en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca. Se llevaron a cabo visitas de campo que permitieron la identificación de las principales problemáticas del proceso productivo, así mismo, se tuvo un diálogo abierto con el administrador de la finca.

La falta de actualización en los procesos reduce las posibilidades de adaptación del sistema productivo de la finca a la variabilidad climática lo que repercute en los índices de productividad, lo anterior debido principalmente a la falta de transferencia de tecnología y la reducida innovación pues el apoyo es insuficiente por parte de los entes gubernamentales, por lo tanto, toda aquella inversión que se quiera hacer para mejorar algún proceso debe correr por cuenta del mismo productor. Adicionalmente, es primordial tomar a consideración la importancia de aunar esfuerzos en las organizaciones ganaderas con el fin de implementar estrategias que permitan la reducción de gases efecto invernadero, como uno de los que mayores aportes de dichos gases realiza.

Se consideran Gases Efecto Invernadero a aquellos compuestos que, aunque se encuentran en la atmósfera en concentraciones muy pequeñas, incrementan de manera significativa la temperatura de la baja atmósfera a causa de su capacidad para absorber y emitir radiación infrarroja. Dichos gases corresponden al dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), denominados comúnmente como GEI directos y los clorofluorocarbonos (CFCs) y el ozono (O_3) troposférico, conocidos como GEI “indirectos”; llamados así debido al tiempo de vida que tienen en la atmósfera. El aumento de sus tasas de emisión se ha dado a raíz de las actividades humanas (procesos industriales, solventes, agricultura, cambio de uso del suelo, desechos, ganadería) lo que ha repercutido en sus niveles de concentración naturales incrementando el efecto invernadero, dicho de otra manera, aumentan en la atmósfera baja la retención de radiación infrarroja (Inventario Nacional de GEI de Colombia, 2015). De acuerdo con lo anterior, se tiene la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las estrategias que favorecen la reducción de GEI en un sistema de ganado lechero en la sabana de Bogotá?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Formular estrategias para la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la ganadería lechera. Caso de estudio Finca Villa Filomena, Tocancipá, Cundinamarca.

3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar a través de herramientas de recolección de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones de GEI.

2. Formular estrategias de reducción de GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema.

3. Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción de GEI estructuradas para la finca.

4. Justificación

La actividad ganadera figura entre los sectores que generan un mayor impacto al ambiente, potenciando la disminución y contaminación de recursos hídricos por medio de agentes contaminantes como los desechos animales (estiércol), los antibióticos y hormonas, fertilizantes y pesticidas utilizados para fumigar los cultivos forrajeros. Ésta, además, contribuye en gran medida a la emisión de gases efecto invernadero (GEI) con un porcentaje estimado de 18 por ciento del total de las emisiones antropogénicas que provienen de los principales sectores emisores (Steinfeld *et al*., 2006), específicamente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). En este contexto, dichos gases son generados durante la fermentación entérica del ganado a través de procesos digestivos normales por actividades microbianas y en el manejo de sus excretas (Sejian *et al*., 2015).

América Latina cuenta con el nivel más alto de emisión a raíz de la alta producción de carne de vacuno especializada. En menor medida, el cambio de uso de la tierra favorece altas emisiones de CO_2 en la región a causa del aumento de pastizales y tierras agrícolas para la producción de piensos, en detrimento de las superficies forestales (Gerber *et al.,* 2013).

La actividad ganadera en el país ha sido una de las más importantes para el sector agropecuario, sin embargo, el nivel tecnológico de la misma no es óptimo y esto se ve reflejado en bajos índices de productividad. Adicionalmente en el sector se tiene la escasa adopción de tecnologías que le permitan al productor tener conocimiento sobre sus propios indicadores productivos, no cuentan con la formación técnica adecuada, programas de mejoramiento genético incipientes, manejo de praderas deficiente, es poco e ineficaz el uso de los recursos financieros, no hay una transferencia de tecnología suficiente ni se trata el tema de la innovación, además es reducida la oferta de información con la cual fortalecer la toma de decisiones (Lombana Coy *et al.,* 2012).

Las emisiones generadas por la ganadería se contabilizan, para cada país en subcategorías del sector agrícola. Entre éstas se encuentra la fermentación entérica, manejo del estiércol, suelos agrícolas, quema de sabanas y quema de residuos agrícolas. En países como Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú la subcategoría correspondiente a la fermentación entérica es la responsable de entre el 8 y 14% de las emisiones a nivel nacional, lo que constituye el 86 y 94% de las emisiones del sector ganadero pues éstas provienen por completo de dicha actividad, siendo la especie de vacunos la de mayor contribución (Reyes & Bravo, 2018). De acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2017), para el sector agropecuario la fermentación entérica representa el 20,6% de las emisiones de GEI generadas en el país y el manejo del estiércol representa el 2,6% de dichas emisiones.

Lo anterior, se traduce en una baja competitividad de la producción y amenaza la sostenibilidad ambiental, debido en gran parte a la falta de integración de las problemáticas relacionadas al cambio climático en procesos de planificación e inversión de los sectores productivos, entendiéndolo como un asunto de desarrollo económico y social que trae consigo como consecuencia pérdidas económicas, aumento en la vulnerabilidad del país y baja capacidad de respuesta a eventos climáticos extremos (Giraldo & Chará, 2011). Es así como, el presente proyecto se desarrolló

5. Marcos de referencia

5.1 Estado del arte

La selección de los artículos a partir de los cuales se trabajó para llevar a cabo el presente estado del arte se hizo abarcando el contexto global, regional (América Latina) y local; en los que se encontró temáticas relacionadas con los objetivos del proyecto investigativo.

En contraste con lo anterior, para Herrero, Thornton, Gerber & Reid (2009) la ganadería a nivel global brinda importantes beneficios a la sociedad incluidos alimentos, forma de ingreso, empleo y vestimenta. Durante su proceso productivo, el ganado hace uso de gran cantidad de recursos naturales ocupando aproximadamente el 30% de la superficie terrestre que se encuentra libre de hielo, además representa el 8% del uso total de agua dulce. Se prevé que la demanda de productos pecuarios se incremente de manera significativa para 2050 dadas las condiciones de crecimiento demográfico y urbano actual, cuestionando si satisfacer la demanda de dichos productos se pueda hacer de manera sostenible ya que, se intensificará la competencia por los recursos naturales y será un desafío equilibrar la producción ganadera y la protección ambiental.

Thornton & Herrero (2010) discuten sobre el impacto negativo que tendrá el cambio climático en los sistemas productivos ganaderos, puntualmente en aquellos de pastoreo ubicados en los trópicos. El ganado como gran contribuyente a las emisiones globales de gases efecto invernadero con un 18% del total de las emisiones, deberá adaptarse haciendo cambios significativos a nivel tecnológico y en los métodos de producción, poniendo en práctica estrategias de reducción de emisiones que se enfoquen en la mitigación de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4).

La investigación a nivel regional se halla enmarcada en el estudio hecho por Alayón *et al*. (2018) para quienes la producción ganadera contribuye en gran medida al aumento de emisiones de gases efecto invernadero. Dichos gases se encuentran compuestos, principalmente por dióxido de carbono (CO_2) como parte de su proceso respiratorio, metano (CH_4) a causa de la fermentación entérica y manejo de las heces y óxido nitroso (N_2O) por descomposición del estiércol. Los autores afirman que la puesta en marcha de prácticas que estén orientadas a la reducción de CH_4 y N_2O, puede constituir un impacto importante en la rentabilidad de un sistema de producción ganadero. Es así como, identificar las diferentes fuentes de emisión de GEI en este tipo de sistemas productivos, es el punto de partida para desarrollar estrategias de mitigación que pueden ir orientadas a la disminución de producción de los GEI o al aumento de mecanismos de captura (fuentes sumidero).

Adicionalmente, para ellos las prácticas de mitigación en las unidades de explotación abarcan diversas áreas; encontrándose entre estas el manejo de praderas, la alimentación de los animales (modificación en su ambiente ruminal) y el mejoramiento reproductivo y las fuentes alimenticias. Dichas prácticas deben ir encaminadas principalmente a la reducción en la producción de metano (CH_4) ya que la mayor parte de los GEI provienen de actividades relacionadas con la alimentación, el manejo de desechos y la fermentación entérica del ganado (Alayón *et al*., 2018).

Por otra parte, Murgueitio *et al.* (2015) traen a consideración como una prioridad el reto de enfrentar el cambio climático en la ganadería de América Latina, de manera especial en regiones tropicales y subtropicales. La velocidad con la que sucede dicho fenómeno global exige que se trabaje con premura

en agendas de adaptación, al mismo tiempo que se avanza en la reducción o mitigación de sus principales causas. Recientemente, la investigación ha trabajado en modelos productivos que combinen de forma simultánea dichas características de reducción y adaptación. Uno de estos modelos es el Sistema Silvopastoril Intensivo (SSPi). Dicho sistema contribuye al ordenamiento ambiental del territorio ocupado por la ganadería y puede ser usado como una herramienta de reducción de la deforestación, rehabilitación de tierras degradadas y aumentar la producción de bienes pecuarios trayendo consigo baja demanda de agroquímicos y propiciando la conservación de servicios ecosistémicos. El objetivo del artículo es demostrar que la producción de carne y de leche puede ser llevada a cabo de forma sustentable, a través de trabajos investigativos.

De acuerdo con estudios realizados en Colombia, Carmona, Bolívar & Giraldo (2005) dicen que los rumiantes aportan de manera significativa al calentamiento global debido a la liberación de altas cantidades de gases a la atmósfera como el dióxido de carbono y el metano, generados principalmente por procesos fermentativos que se llevan a cabo en el rumen de la vaca, el cual tiene como principal componente bacterias anaerobias metanógenas. La producción de dicho gas es considerada, además, como una pérdida de energía para el animal. Los efectos que tienen las bacterias metanógenas dependen en gran medida de los sustratos que se encuentran presentes en la dieta, por lo que las intervenciones en la alimentación que estén orientadas en la optimización del proceso de fermentación ruminal conllevan a mejoras en parámetros de reproducción y producción, ya que hay un mejor uso de la energía, además aporta a la reducción de emisiones a la atmósfera. Su propósito es plasmar aquellos factores que determinan las emisiones de metano y las alternativas para reducir su producción en la ganadería, con el fin de que se haga de una forma eficiente y se conserve el medio ambiente.

Desde otro punto de vista Arboleta, Tombe, Morales & Vivas (2013) discuten sobre las dificultades de los sistemas de la ganadería extensiva en el trópico colombiano; caracterizándose éste por una baja eficiencia en el uso de los suelos en adición al detrimento ambiental debido a la deforestación, quemas, erosión, pérdida de biodiversidad y contaminación de fuentes hídricas haciendo ver a la ganadería como un sector que atenta contra la sostenibilidad de los ecosistemas. Los mismos, hacen referencia a la importancia que tiene la vegetación arbórea en los sistemas productivos ganaderos para la recuperación de suelos, el ciclo del agua, la fijación de nitrógeno y la movilización de fósforo, además de servir como fuente alimenticia para los animales a través de su follaje. Adicionalmente, destacan el servicio ambiental de captura de CO_2 que prestan los sistemas agroforestales, ya que contribuyen a fenómenos mundiales de gran interés.

Tal y como afirman Mahecha, Gallego, & Pelaez (2002), los sistemas de producción ganadera en Colombia deben buscar alternativas tecnológicas que, a mediano plazo, logren aumentar la productividad bovina basadas en programas de retención, selección, mejoramiento y prácticas más rutinarias de manejo, por lo que es de vital importancia avanzar en el manejo de praderas orientadas hacia una producción limpia, permitiendo mejoras sustanciales en los programas de alimentación, los cuales deben incluir permanentemente suplementación con sales minerales y bloques nutricionales que atenúen la alta presión sobre los recursos naturales.

Esta investigación manifiesta la importancia de buscar estrategias que lleven a alcanzar una verdadera competitividad, productividad y sostenibilidad, a la vez que permita lograr una mayor participación del sector pecuario en la economía del país. Existen claras limitaciones para potenciar el desarrollo de la ganadería en Colombia; primero las deficiencias en infraestructura regional, la producción extensiva-extractiva, sistemas de producción poco definidos, uso de tecnologías de producción inapropiadas,

conflictos en el uso del agua y suelo y la baja capacidad empresarial de los ganaderos (Mahecha, Gallego & Peláez, 2002).

5.2 Marco teórico

5.2.1 Ganadería y cambio climático

La ganadería forma parte de los sectores productivos que mayor repercusión tiene en las principales problemáticas ambientales dada la magnitud de su impacto, desde el entorno local hasta el global, requiriendo de urgente atención. Sin embargo, cuenta con una significativa importancia a nivel social y político, ya que representa el 40% del producto interno bruto (PIB) agrícola; es un gran generador de empleo y un medio de subsistencia para miles de personas de bajos recursos alrededor del mundo (Steinfeld et al., 2006).

La demanda mundial de carne y leche experimenta un vertiginoso aumento debido al crecimiento poblacional, incremento de los ingresos y la urbanización. No obstante, el impacto en el ambiente del sector pecuario es intenso y de largo alcance, continúa en crecimiento y se transforma rápidamente. Dicho sector, afecta ampliamente una serie de recursos naturales y su gestión debe ser llevada a cabo de manera cuidadosa en vista de su escasez y su progresiva demanda por otras actividades (Herrero et al., 2009).

El pastoreo y la producción de cultivos forrajeros son considerados causas directas e indirectas del 30% de ocupación de la superficie terrestre con fines pecuarios, constituyéndose en muchos casos como la principal fuente de contaminación debido al vertimiento de nutrientes, materia orgánica y residuos farmacológicos en las superficies de agua. En adición, hay emisiones de gases por parte de los animales que inciden en el cambio climático (Thornton & Herrero, 2010).

La producción pecuaria se encuentra estrechamente relacionada con la emisión de grandes cantidades de gases efecto invernadero, en particular de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Las emisiones del ganado se derivan de la respiración en forma de dióxido de carbono; además como parte de su proceso digestivo emiten metano, incluyendo la fermentación por acción microbiana de alimentos fibrosos. Otra fuente de emisión de metano y gases como el óxido nitroso, amoniaco y dióxido de carbono es el estiércol, desde su producción hasta el manejo abarcando la recolección, el almacenamiento y su dispersión. En el rumen, por medio de la fermentación microbiana o entérica los alimentos fibrosos son transformados en productos que son digeridos y empleados por el animal, dicho proceso genera como subproducto metano que es exhalado por el semoviente. Cabe mencionar, que la ingesta de energía y factores que se encuentran relacionados con la dieta y el animal influyen en el nivel de emisiones de CH_4 (Moss, Jouany & Newbold, 2000).

El manejo del estiércol en forma líquida en estructuras como lagunas y tanques también libera metano, debido a la descomposición anaeróbica de su contenido orgánico. Ésta se encuentra influida por una variedad de factores que alteran el crecimiento de las bacterias como temperatura ambiente, humedad y tiempo de almacenamiento, siendo los responsables de la formación de metano. El contenido de energía del estiércol influye también en la cantidad de metano que se produce, factor que se encuentra determinado por la dieta del ganado (Calvet Sanz, 2015).

El sector ganadero, de manera indirecta, contribuye a la liberación atmosférica de amplias cantidades de carbono a través de la afectación del balance de dicho elemento en las tierras que se encuentran destinadas a pastizales o para producción de cultivos forrajeros. Al talarse los bosques para su conversión en pastos sucede lo mismo, viéndose alterado el ciclo biológico (Gerber et al., 2013).

Una contribución importante a la producción de óxido nitroso la realiza las actividades pecuarias, siendo éste el gas más potente de los 3 principales gases de efecto invernadero (CO_2, CH_4, N_2O). Se cree que la ganadería aporta "casi las dos terceras partes del total de las emisiones de N_2O antropogénicas" y las tendencias de hoy en día supone un aumento de su nivel en los próximos años. Hay producción de emisiones de óxido de nitrógeno al realizarse un manejo de los desechos de forma aeróbica, ya que permite que haya una transformación del nitrógeno orgánico o el amoniaco (NH_3) en nitritos y nitratos a través del proceso de nitrificación (Havlík et al. 2013).

El conjunto de las investigaciones encontradas permite la contextualización frente al tema de emisiones de gases efecto invernadero en sistemas productivos ganaderos con la finalidad de encontrar estrategias que se enfoquen en la reducción de estas. Se consideran aspectos como manejo nutricional, manejo de estiércol, sistemas agroforestales y demás, que influyen en la formulación de las estrategias que fomenten la reducción de emisiones GEI en la ganadería lechera. Tener como referente estudios para reducir emisiones GEI en sistemas ganaderos de otros países, puede servir como base para una posible adaptación de diversas estrategias en la Finca Villa Filomena, Tocancipá (Cun).

5.3 Marco conceptual

Serrano Martínez & Ruiz Mantecón (2003) definieron la ***ganadería sostenible*** "como un sistema viable económicamente, soportable en cuanto a las exigencias de trabajo y sociales que supone, transmisible en términos de sucesión generacional y reproducible a largo plazo desde un punto de vista medioambiental". De acuerdo con esta definición, las características y objetivos del ganadero deben ser consideradas trascendentales respecto al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. Adicionalmente, a través de la ganadería sostenible se minimiza la producción de gas metano con lo cual es posible lograr un equilibrio ecológico, ya que no es factible dejar de producir alimentos para el mundo, por el contrario, deben ser minimizados los impactos ambientales (Montiel, 2015).

La aplicación continua de estrategias ambientales y métodos preventivos donde se integren procesos, productos y servicios con la finalidad de aumentar la eficiencia y reducir riesgos para el ambiente y el ser humano se conoce como ***producción más limpia,*** de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, *s.f*). Dentro de dicho proceso, se aborda el ahorro de energía y materias primas, se prescinde de materiales tóxicos y se busca reducir las cantidades de residuos y de emisiones. Adicionalmente, la producción más limpia pretende reducir impactos negativos a lo largo del ciclo de vida de los productos.

Los "alimentos herbáceos o arbustivos utilizados para el pastoreo y que pueden ser cosechados y/o conservados para el consumo animal" es la definición de ***forraje***, según Ferri, Sáenz & Jouve (2015). Es, además, una forma de proveer alimento para los animales en pastoreo o puede ser cosechada para que se usen en alimentación.

Gracias a la ***fisiología de las vacas***, éstas tienen la capacidad de hacer uso de materias primas que otras especies no pueden utilizar como alimento, debido a la adaptación de su aparato digestivo y a la simbiosis que tiene con diversidad de microorganismos que habitan en el rumen. Dicha interacción simbiótica constituye un evento de gran importancia, dado que gracias a esto, sustratos que no pueden ser utilizados por el hombre, pueden ser aprovechados por el rumiante. Sin embargo, la digestión de estos compuestos es llevada a cabo por la acción enzimática efectuada por los microorganismos ruminales. Es así como, los rumiantes pueden convertir celulosa y hemicelulosa, además de otros compuestos, en carne y leche indispensables para el desarrollo del hombre (García Carrasco, 2016).

El ***efecto invernadero*** es considerado un mecanismo a través del cual la atmósfera terrestre se calienta, haciendo posible la vida en la superficie terrestre. La tierra remite en forma de radiación infrarroja la energía que recibe por parte del sol, con el propósito de mantener el equilibrio energético. En estado natural el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua y otros gases de efecto invernadero absorben y remiten dicha radiación, calentando la parte baja de la atmósfera (Caballero, Lozano & Ortega, 2007). Diversas actividades realizadas por el hombre se han encargado de poner en la atmósfera mayores tasas de CO_2, metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y otros gases efecto invernadero (GEI), haciendo más difícil su asimilación por parte de la biósfera y generando así un aumento en las concentraciones atmosféricas de GEI. Dichos incrementos en las concentraciones naturales acrecientan el efecto invernadero, causando a la vez cambio climático (Inventario Nacional de GEI de Colombia, 2015).

Son considerados ***Gases Efecto Invernadero (GEI)*** aquellos compuestos que, aunque se encuentran en la atmósfera en concentraciones muy pequeñas, incrementan de manera significativa la temperatura de la baja atmósfera a causa de su capacidad para absorber y emitir radiación infrarroja. Dichos gases corresponden al dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), denominados comúnmente como GEI directos y los clorofluorocarbonos (CFCs) y el ozono (O_3) troposférico, conocidos como GEI "indirectos"; llamados así debido al tiempo de vida que tienen en la atmósfera. El aumento de sus tasas de emisión se ha dado a raíz de las actividades humanas (procesos industriales, solventes, agricultura, cambio de uso del suelo, desechos, ganadería) lo que ha repercutido en sus niveles de concentración naturales incrementando el efecto invernadero, dicho de otra manera, aumentan en la atmósfera baja la retención de radiación infrarroja (Inventario Nacional de GEI de Colombia, 2015).

Desde mediados del siglo XIX se ha presentado un aumento de la temperatura promedio en la superficie terrestre y se cree que continuará su proyección hacia futuro. Según la opinión científica, los cambios observados en el calentamiento de la tierra son por causa de las actividades humanas, debida en gran parte al aumento de las emisiones de dióxido de carbono fundamentado en la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) lo que ha potenciado el efecto invernadero (Caballero, Lozano & Ortega, 2007), esto se conoce como ***calentamiento global***.

El ***cambio climático*** se entiende, de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC, 2008) como "un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". Por otra parte, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001) define este fenómeno como: "una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo de tiempo prolongado (normalmente decenios o incluso más). Se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras".

5.4 Marco normativo

El marco legal incluye diversas normas en las cuales se consagran principios y valores ambientales, también aquellas en las que hay un reconocimiento a los derechos humanos ambientales; normas de política, planificación y gestión ambiental y normas técnicas donde se hace referencia al control de productos y procesos productivos, en torno al tema ganadero y al cambio climático. En este se consideran instrumentos en los cuales, se incluye el componente ambiental y principios fundamentales que permiten mantener la competitividad del proceso productivo de la ganadería lechera, sustentado en el uso apropiado de los recursos naturales y en el marco de los compromisos internacionales.

Tabla 1. *Resumen de la legislación Nacional asociada a ganadería, protección del medio ambiente y cambio climático.*

NORMA	**DESCRIPCIÓN**
Constitución Política de 1991	Reconocimiento del medio ambiente como elemento esencial para el desarrollo humano, así como el establecimiento de su defensa como objetivo de principio dentro de la forma organizativa de un Estado Social de Derecho.
Leyes	
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Norma que recogió los principios establecidos en la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano de 1972.
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias. Título I, de la protección del medio ambiente.
Ley 99 de 1993	Creación de Ministerio del Medio Ambiente, reordenamiento del sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA, y se dictan otras disposiciones. Tiene como principios relacionados la protección del paisaje por ser patrimonio común.
Ley 115 de 1994	Ley General de la Educación. Se señalan las normas generales que regulan y definen el desarrollo y las prestaciones de la educación formal.
Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.
Ley 629 de 2000	Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
Ley 1844 de 2017	Por medio de la cual se aprueba el “Acuerdo de París”.
Ley 1931 de 2018	Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decretos	
Decreto 616 de 2006	Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expenda, importe o exporte en el país.
Decreto 298 de 2016	"Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA) y se dictan otras disposiciones".
Resoluciones	
Resolución ICA 3585 de 2008	Se establece el sistema de inspección, evaluación y certificación oficial de la producción primaria de leche.
Políticas	
CONPES 3675 de 2010	Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano. Desarrollo de estrategias e instrumentos que permitan disminuir los costos de producción e incrementar la productividad con miras a profundizar y diversificar los mercados interno y externo y aprovechar las oportunidades y ventajas comparativas que tiene el sector.
CONPES 3676 de 2010	Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica. Elementos necesarios que permiten mejorar el estatus sanitario de la producción agroalimentaria, con el objetivo de proteger la salud de las personas, animales y plantas, preservar la calidad del medio ambiente y mejorar la competitividad de la producción en la finca.
CONPES 3700 de 2011	Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia.
2017	Política Nacional de Cambio Climático: documento para tomadores de decisiones.
NAMA Ganadería Bovina	Tiene como objetivo "disminuir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) generados en la producción ganadera e incrementar los sumideros de carbono de los agroecosistemas de pasturas, por medio de un ordenamiento ambiental y productivo a nivel regional, promoviendo a su vez la conservación y/o restauración de ecosistemas naturales, incentivando paisajes productivos sostenibles".

5.5 Marco geográfico

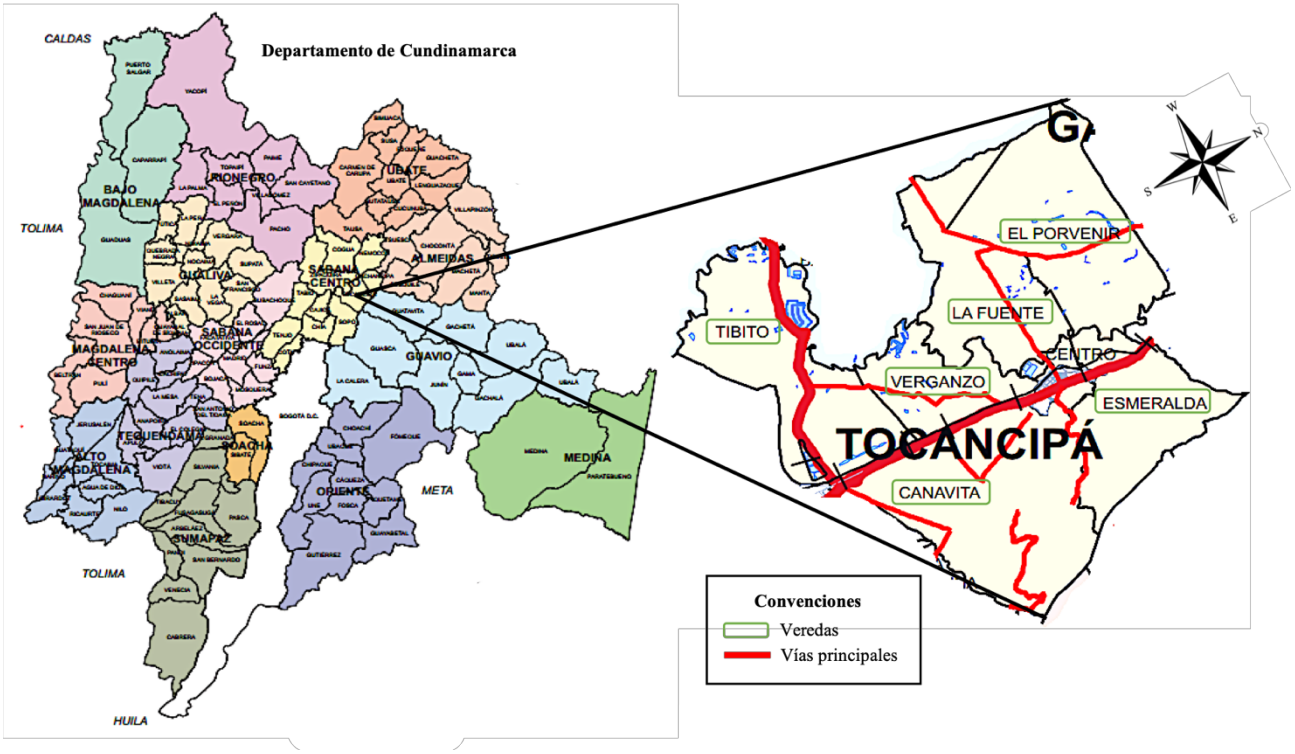
5.5.1 Descripción del territorio

El municipio de Tocancipá (figura 1) está localizado en el departamento de Cundinamarca en la Sabana Centro -al norte de la capital de la República-. Este municipio se caracteriza por tener una vocación funcional debida a la dinámica económica con la que cuenta, soportada en actividades de tipo industrial, agroindustrial, minera, agropecuaria, comercial y de servicios que tiene como destino tanto el mercado regional como el nacional. Limita al norte con los municipios de Gachancipá y Zipaquirá al occidente con los municipios de Cajicá y Zipaquirá, al oriente con los municipios de Gachancipá y Guatavita y al sur con los municipios de Guasca y Sopó. Tiene una extensión total de 73,51 km^2, correspondiendo al área urbana 0,62 km^2 y al área rural 72,89 km^2 (Alcaldía de Tocancipá, 2010).

Se encuentra ubicado a una altitud de 2.605 m.s.n.m correspondiendo a clima frío, con una temperatura media de 16º C. Presenta una variación en la precipitación entre 650 mm y 800 mm anuales, con un régimen de lluvias bimodal generando dos periodos de lluvias al año: marzo a mayo y octubre a diciembre (Alcaldía de Tocancipá, 2015).

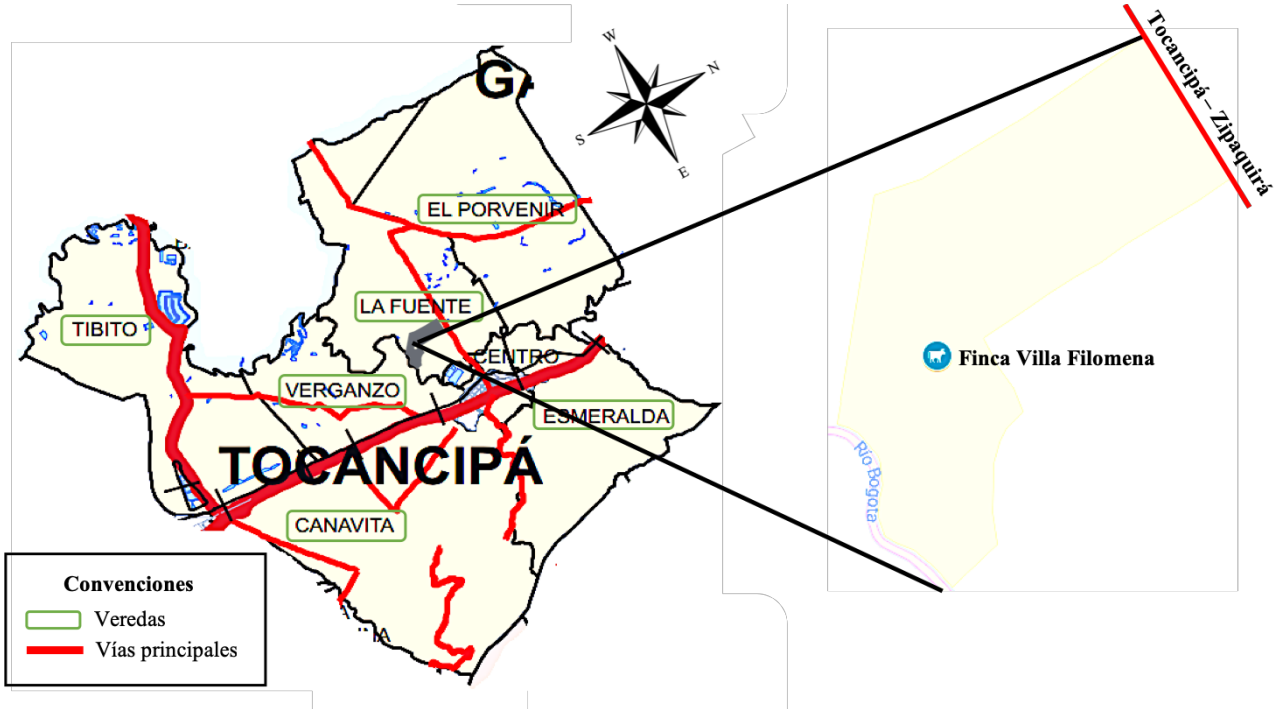
La Finca Villa Filomena (figura 2) se encuentra ubicada en la vereda La Fuente del municipio de Tocancipá. La vereda esta localizada al occidente de la carretera central del norte y sus condiciones son rurales con presencia de agroindustria, identificándose como principales actividades económicas el cultivo de rosas, la ganadería extensiva y la agricultura con cultivos de papa, cebolla y hortalizas (Alcaldía de Tocancipá, 2010). La finca cuenta con una extensión de 38 hectáreas y su principal actividad económica es la lechería especializada, teniendo en producción aproximadamente 100 cabezas de ganado entre razas Holstein y Jersey**.**

Figura 1. *Localización Municipio de Tocancipá (Cundinamarca).*



Fuente: Alcaldía de Tocancipá, 2010.

Figura 2. *Localización Finca Villa Filomena.*



Fuente: Alcaldía de Tocancipá (2010), Google My Maps (2018)

5.6 Marco institucional

A continuación, se presentan las organizaciones que contribuyen conocimientos en investigación al presente proyecto.

La Secretaria de Ambiente de Tocancipá tiene como misión velar por la preservación del ambiente y los recursos naturales del municipio e incentiva la recuperación, conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Al respecto, se trae a alusión el Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Tocancipá alta competitividad" en el cual, en el eje económico "desarrollo económico con alta competitividad y proyección", se tiene como objetivo fortalecer los procesos del sector agropecuario buscando estructurar proyectos integrales de innovación para la promoción del desarrollo e incrementar la productividad de las unidades productivas. A su vez se busca fortalecer el sistema de gestión del riesgo permitiendo mitigar las consecuencias del cambio climático en la región promocionando a los sectores productivos la implementación de mecanismo de producción limpia (Alcaldía de Tocancipá, 2017).

La Federación Colombiana de Ganaderos a través del proyecto ganadería colombiana sostenible ofrece una oportunidad para mejorar la producción del sector ganadero mediante el trabajo amigable con el ambiente. Si bien la convocatoria promovida por FEDEGAN no acoge al municipio de Tocancipá, este puede ser una guía para el presente proyecto en cuanto a los actores que lo conforman (FEDEGAN, 2017). Es el caso del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) el cual con el área de Ganadería Sostenible trabaja en proyectos de investigación y desarrollo en una red de fincas empresariales y campesinas en diversas regiones del país, contribuyendo a la investigación, evaluación y adaptabilidad de diversas opciones que buscan la reconversión ambiental y social de la actividad productiva proyectándose a abarcar la mayoría del territorio nacional (CIPAV, 2017).

Teniendo en cuenta que el proyecto se enmarca en el sector de producción lechera para consumo humano es fundamental involucrar al Instituto Colombiano Agropecuario, cuya misión es trabajar por la sanidad agropecuaria y la inocuidad agroalimentaria del campo colombiano. Donde por medio del área de Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) comprende unos requisitos que se deben cumplir para prevenir prácticas erradas que puedan inducir a problemáticas ambientales y de salud humana (ICA, 2017).

6. Metodología

El sector ganadero, de acuerdo con lo expuesto durante el desarrollo del proyecto, es un amplio contribuyente de emisiones GEI a la atmósfera. En el país es uno de los sectores con mayores emisiones brutas y su causa principal es la fermentación entérica. A nivel departamental (Cundinamarca), el desarrollo de estas actividades realiza importantes aportes a dichas emisiones, procedentes en su mayoría de la fermentación entérica, el manejo del estiércol y el uso de agroquímicos como fertilizantes nitrogenados. Teniendo en cuenta lo anterior, como objeto de estudio se escogió la finca Villa Filomena (Tocancipá) en la presente investigación, indagando sobre diversos aspectos del funcionamiento de la producción ganadera. Con el propósito de llevar a cabo la investigación, se realizaron visitas de campo a la finca para observar el proceso productivo y obtener información primaria.

6.1 Diseño metodológico de la investigación

6.1.1 Enfoque

Considerando la finalidad del proyecto, para la formulación de estrategias de reducción de Gases Efecto Invernadero se puede determinar que el enfoque es mixto, puesto que se tienen en cuenta componentes tanto cuantitativos como cualitativos. A partir de una idea y el planteamiento de un problema, se llevó a cabo la revisión inicial de la literatura como apoyo a cada una de las fases de la presente investigación.

El enfoque cualitativo comprende la recopilación de información a partir de un conjunto de técnicas, tomando en consideración un proceso de indagación flexible con la finalidad de dar respuesta al planteamiento del problema. La inmersión en campo es fundamental en este caso ya que permite hacer el reconocimiento y análisis del estado del territorio (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). En consecuencia, en el presente estudio, el enfoque se llevó a cabo a partir de observación directa. Se realizaron visitas de campo con el fin de hacer una aproximación al objeto de estudio identificando áreas susceptibles de análisis en torno a emisiones GEI, comprendiendo el desarrollo de cada proceso dentro del sistema productivo lechero.

El enfoque cuantitativo, a través de la recolección de datos cuantificables, permite examinar una o varias hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para así establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Ya que en este enfoque se pretende medir, los fenómenos objeto de estudio deben poder observarse (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). Partiendo de esto, la investigación desarrollada se llevó a cabo aplicando principios de investigación cuantitativa no experimental bajo la cual no se realizó manipulación deliberada de variables, sino que se observó en su ambiente natural los fenómenos para analizarlos posteriormente. Por medio de la herramienta Cool Farm Tool®, descrita más adelante, se recopiló información cuantitativa sobre las emisiones de Gases Efectos Invernadero en la finca en cada una de las fases de producción ganadera.

6.1.2 Alcance

A partir de la revisión de la literatura y el enfoque de la presente investigación, se determinó un alcance descriptivo y explicativo. El primero de ellos, se debe primordialmente a que se busca especificar propiedades y características importantes (detallando como son y se manifiestan) con respecto al sistema de ganado de leche, particularmente en la finca Villa Filomena. Lo anterior, dado que los estudios con

dicho enfoque permiten mostrar con precisión dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). A través de las investigaciones descriptivas se pretende únicamente medir o recoger información acerca de las variables de estudio, sin indicar como es la relación entre unas y otras.

Por su parte, el alcance explicativo permite establecer las causas de las principales emisiones de gases efecto invernadero de la ganadería lechera en la finca, sus efectos y sus formas de reducción, respondiendo al primer y segundo objetivo del proyecto de investigación. Los estudios de tipo explicativo pretenden dar respuesta a las causas de eventos o fenómenos. Su interés se encuentra centrado en explicar en que condiciones se manifiesta dicho fenómeno y por qué ocurre (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), proporcionando un sentido de entendimiento del fenómeno en referencia.

6.1.3 Métodos

Se considera los métodos inductivo y deductivo, ya que a partir de un primer acercamiento a través del análisis de información respecto a las emisiones de gases efecto invernadero en la ganadería y de la observación en campo del sitio de estudio, fue posible estructurar las relaciones causa-efecto que mayor influencia tienen en la emisión de GEI, vinculadas a los procesos productivos de la ganadería de leche en la finca para así, proponer estrategias de reducción de estos. El método inductivo, consiste en examinar los hechos identificados en la zona de estudio con respecto a la información obtenida y, por consiguiente, realizar análisis y discusiones en el desarrollo de la investigación con el objetivo de indagar sobre lo observado. El deductivo por su parte, tiene la finalidad de probar hipótesis y preguntas de investigación con base en mediciones, así entonces se establecen patrones de comportamiento y se prueban teorías (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

6.1.4 Unidad de análisis

Acorde al objetivo general del presente proyecto se define como unidad de análisis “la finca Villa Filomena” dado que alrededor de dicha temática se identifican y desarrollan los demás objetivos de investigación. La unidad de análisis es considerada como los elementos en los cuales se enfoca el estudio (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

6.1.5 Diseño de investigación

A partir del enfoque del proyecto, el diseño de investigación es de tipo transversal descriptivo, puesto que el propósito fundamental es describir los procesos de la ganadería lechera que mayor incidencia tienen sobre las emisiones de GEI en su ciclo productivo, teniendo en cuenta el estado actual de producción en la finca de acuerdo con la revisión de registros y manejo de la información llevada por el productor. Además, se toma en consideración el diseño de investigación-acción, puesto que, a partir de la comprensión de la problemática identificada y el ejercicio investigativo es factible formular estrategias de reducción que contribuyan a mejorar el sistema productivo desde la ingeniería ambiental. Este tipo de diseños tienen como finalidad la resolución de problemas cotidianos y la optimización de prácticas concretas, adicionalmente, se enfoca en contribuir con información para la guía en la toma de decisiones con respecto a programas, procesos y reformas estructurales (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

6.1.6 Variables, técnicas e instrumentos de recolección de información

Forman parte de las técnicas cualitativas para la recolección de los datos e información la observación directa, registro fotográfico, diario de campo y el análisis documental. Se eligió el diario para su aplicación en campo, debido a que éste nos permite registrar las descripciones del ambiente o contexto de estudio. Como parte de las técnicas cuantitativas, se encuentra la observación no estructurada ya que ésta ayuda a estudiar de forma precisa aquellos patrones de comportamiento que se quieren observar y medir. Así, la recopilación de los datos puede llevarse a cabo con base en elementos técnicos como fichas, cuadros y tablas (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

A continuación, se describe la metodología seguida para el desarrollo y cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos propuestos, así como también las diferentes variables medidas, teniendo en cuenta las técnicas e instrumentos utilizados.

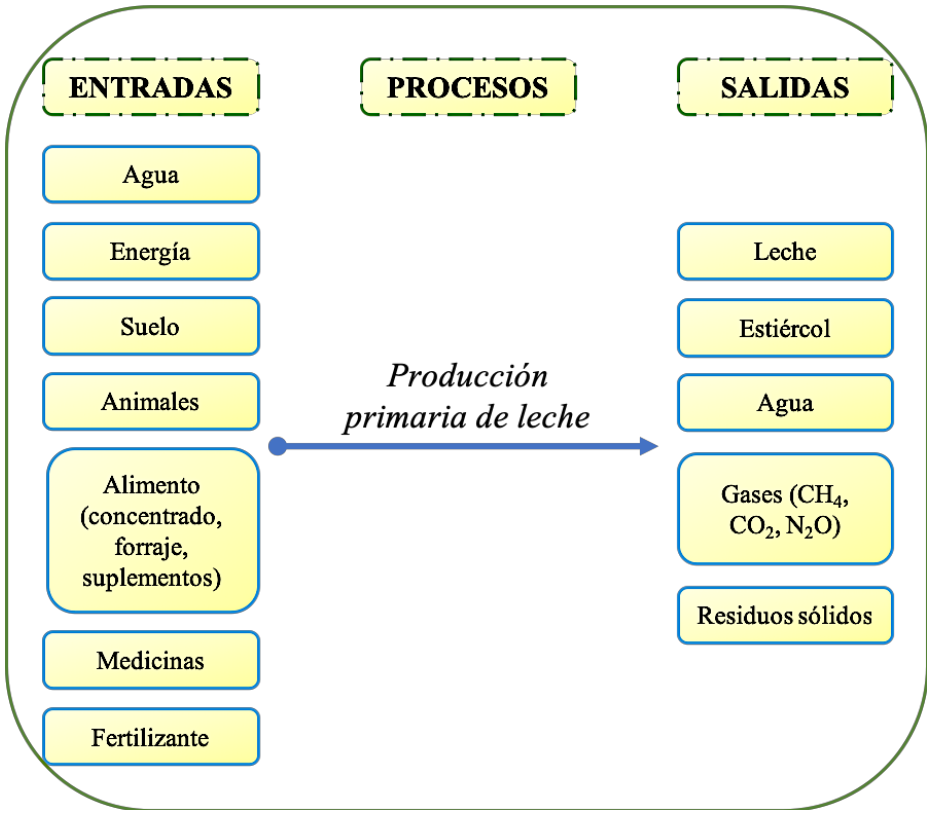
Objetivo específico 1. Diagnosticar a través de herramientas de recolección de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones de GEI.

El desarrollo del presente objetivo se inicia con la revisión de referentes teóricos y conceptuales con el fin de identificar herramientas que faciliten el análisis del sistema ganadero de leche con respecto a los impactos que éste genera en el ambiente, especialmente lo que corresponde a GEI. A partir de ello, se hizo uso en primera instancia, del enfoque sistémico como base fundamental para identificar los componentes del sistema y analizar sus interacciones con relación a sus aspectos internos, ya que no se tuvieron en cuenta factores de tipo externo.

De acuerdo con Navas Panadero & Velásquez Mosquera (2014), los sistemas productivos agropecuarios cuentan con escenarios internos que son el resultado de interacciones entre sus componentes y llevar a cabo el análisis y evaluación de dichas interacciones permite el reconocimiento de los diferentes procesos que se desarrollan, ya que éstos establecen el uso de los recursos que tiene el sistema; es decir, se puede realizar un análisis de la eficiencia del sistema y hacer los cambios necesarios en los procesos con la finalidad de mejorar el uso de la entradas.

En consecuencia, para la comprensión de los impactos de mayor importancia de la ganadería lechera es práctico entender los diferentes procesos productivos que promueven dichos impactos dependiendo de sus entradas y salidas. Es así como, en el enfoque sistémico de la finca se tomó en consideración las variables de entrada y salida más significativas, desarrollando un modelo tanto cualitativo como cuantitativo donde se muestra los componentes, la forma en las que estos interactúan y las cantidades de los flujos para el proceso de producción primaria de la leche. En la figura 3, se encuentra representado el esquema general del enfoque sistémico desarrollo para la finca.

Figura 3. *Variables de entrada y salida en el enfoque sistémico para la producción de leche (esquema general).*

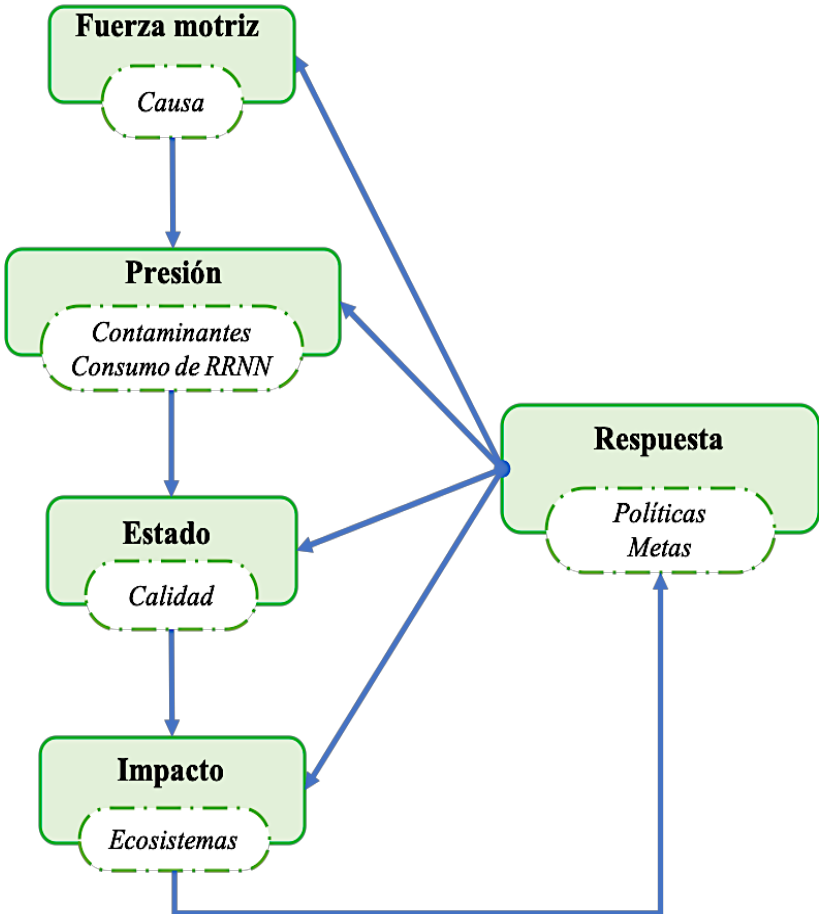


Fuente: Adaptado de Leiva Barón *et. al.,* 2016.

En segunda instancia, se construyó el modelo Fuerza Motriz, Presión, Estado, Impacto, Respuesta (FPEIR) con base en la información obtenida en el enfoque sistémico. Dicho modelo tiene como fin la descripción y la comprensión de las interrelaciones que hay entre actividades económicas y el ambiente. En otras palabras, actúa como un esquema a través del cual se hace un análisis para la estructuración de las relaciones causa-efecto afines a los conflictos de gestión respecto al ambiente y los recursos naturales (Fernández & Enriquez, 2010).

Las fuerzas motrices son consideradas la causa externa del hecho a analizar o los factores que marcan el cambio (sectores económicos), las presiones son la forma de manifestación de la fuerza motriz que influye en el ambiente, por medio de estos es posible entender los motivos por lo que algunos procesos se convierten en amenaza para el ambiente (residuos, emisiones, vertimientos) lo que conduce al sistema a cierto estado (biológico, físico, químico, ecológico) y a que se generen impactos en los ecosistemas y la salud humana. Todo esto supone unas respuestas por parte de gobiernos e instituciones (sociedad) mediante planes, programas y proyectos donde se anteponen las problemáticas y se determinan metas (Fernández & Enríquez, 2010). En la figura 4 se observa el esquema gráfico general del marco de trabajo del modelo FPEIR.

Figura 4. *Esquema general del modelo FPEIR.*

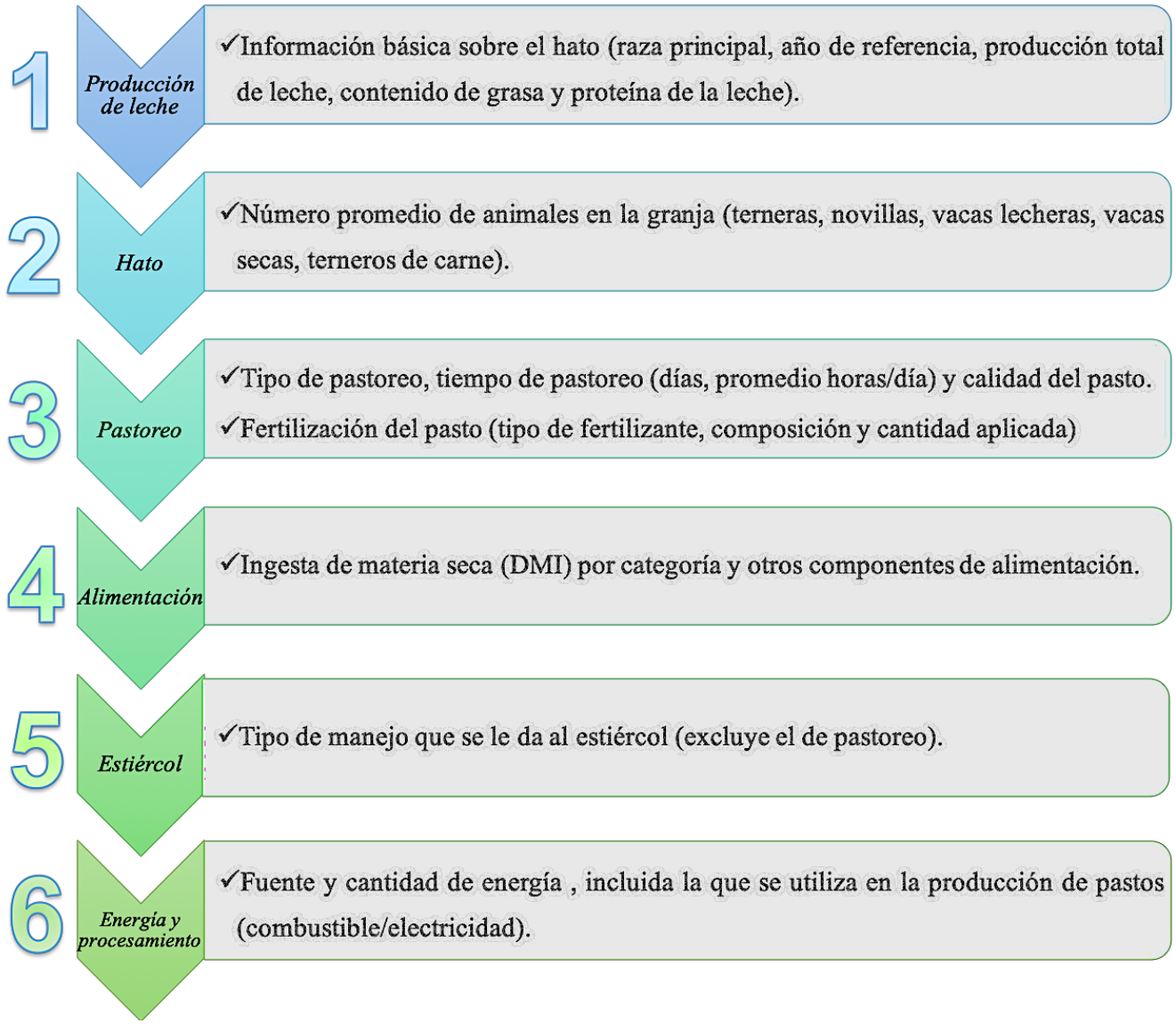


Fuente: Adaptado de Leiva Barón *et. al.,* 2016.

Se establece el modelo con respecto a la relación existente entre la fuerza motriz (que determina la transformación del sistema productivo de la ganadería de leche) y la presión (ejercida por parte de procesos nocivos que afectan el sistema), trayendo consigo variaciones en el estado del ambiente y por tanto un impacto efecto de la actividad ganadera, lo que conlleva a la adopción de políticas con el fin de reducir o mitigar el daño ambiental como respuesta.

Finalmente, dentro de los instrumentos seleccionados para llevar a cabo el diagnóstico se tiene la herramienta Cool Farm Tool®. A través de ésta, se obtuvo información cuantitativa acerca de las emisiones GEI generadas en el proceso productivo lechero de la finca. Se evidenciaron los principales focos de emisión hacia donde deben ir dirigidas las estrategias de reducción. La herramienta se caracteriza por su enfoque en el productor, ya que la información se puede encontrar fácilmente en la finca lo que la hace fácil de manejar. Para la aplicación en el cálculo de la huella de carbono en la ganadería lechera ésta se encuentra segmentada en diferentes secciones, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. *Datos de entrada para el cálculo de la huella de carbono en una lechería.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

La herramienta es una calculadora de emisiones GEI desarrollada por Unilever, investigadores de la Universidad de Aberdeen y el Sustainable Food Lab, que tiene como finalidad brindar apoyo a productores para medir y comprender las emisiones de GEI que son generadas en la finca. Está diseñada para su fácil entendimiento, contando con el respaldo y la validez científica en el campo de la medición de carbono. Su base se centra en los métodos sugeridos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para el análisis de inventarios GEI; estos métodos varían el uno del otro de acuerdo con el grado de complejidad pues van desde lo más sencillo (nivel 1) donde se utilizan factores globales o regionales, pasando por los de mediana complejidad (nivel 2) resultado de estadísticas e investigaciones nacionales hasta los más avanzados (nivel 3) considerados los de mayor precisión ya que abarcan mediciones en campo y modelaciones a nivel local (Cool Farm Alliance, 2016).

La Cool Farm Tool® ha sido ampliamente usada desde hace varios años por diversos patrocinadores en diferentes proyectos piloto liderados por el Sustainable Food Lab, Unilever y la Universidad de Aberdeen, brindando así respaldo científico y confiabilidad para su uso en el presente proyecto de investigación.

Objetivo específico 2. Formular estrategias de reducción de GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema.

Para llevar a cabo el presente objetivo se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en el primero, como base para la revisión de la literatura necesaria. La investigación documental se fundamento principalmente en la ganadería, su relación con emisiones de gases efecto invernadero (GEI) para así hallar estrategias de reducción aplicables a sistemas ganaderos lecheros. Entre las fuentes de información consultadas se encuentran artículos de revistas científicas, estudios hechos por organizaciones intergubernamentales, trabajos de grado y bases de datos. Las variables identificadas y evaluadas fueron las siguientes:

Tabla 2. *Variables y características para el tratamiento de la información.*

Variables	**Características**	
Emisiones de Gases Efecto Invernadero en ganadería	Influencia	Palabras clave que permitieron la discriminación adecuada de la información bibliográfica
	Fuentes	
	Producción	
	Proceso/ciclo productivo	
	Reducción - mitigación	
	Adaptación	
	Sostenibilidad	

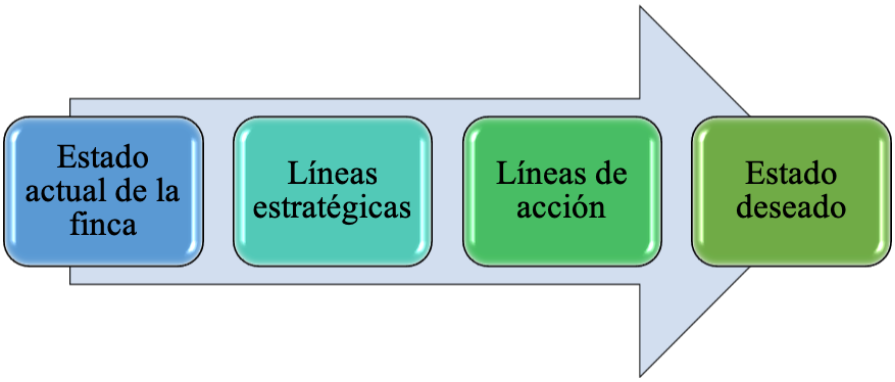
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La información analizada se compara con los resultados obtenidos a través del desarrollo del objetivo número 1 de acuerdo con lo arrojado por cada herramienta utilizada en el análisis del sistema ganadero de Villa Filomena, sin embargo, hay un mayor enfoque en el resultado derivado del cálculo de emisiones ya que éste actúa como base principal para la orientación que se dará a la formulación de las estrategias de reducción de la finca.

Objetivo específico 3. Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción de GEI estructuradas para la finca.

Para la puesta en marcha del presente objetivo se tiene en cuenta la información recolectada en el punto anterior como sustento para la elaboración de la hoja de ruta. A través de ésta se plasmarán las estrategias de reducción GEI planteadas para la finca con el propósito de que sean implementadas paulatinamente por el productor, así sabrá en que punto se encuentra el sistema productivo a nivel ambiental y hacia donde dirigirlo. La finalidad de la hoja de ruta se remite a ofrecer iniciativas de cambio, como herramienta donde se encuentran definidas acciones a seguir para llegar al cumplimiento de un objetivo en específico.

Figura 6. *Planteamiento general de la hoja de ruta.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3. Cuadro metodológico de la investigación.

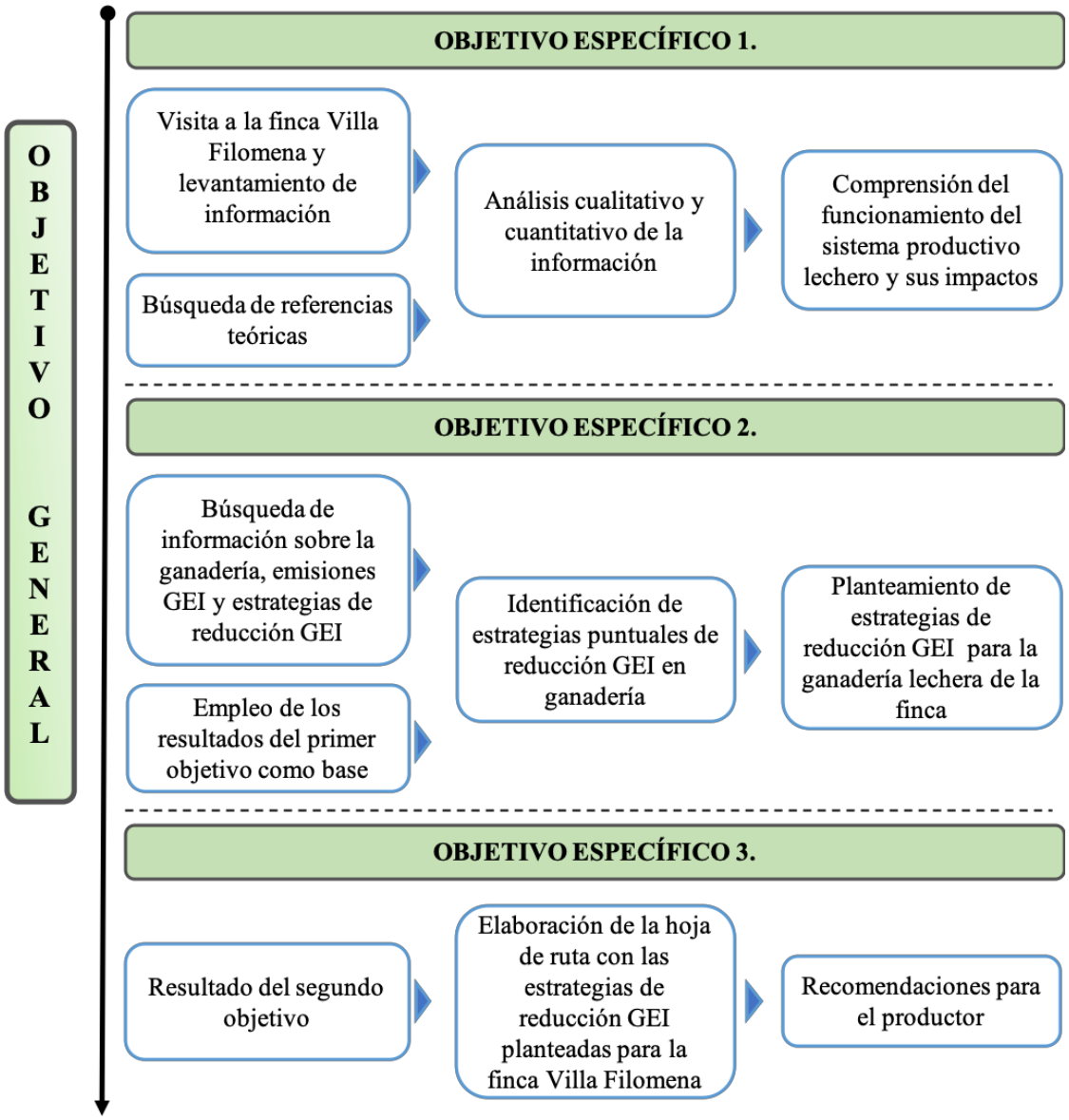
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN					
Objetivo General	**Objetivos específicos**	**Actividad**	**Técnica**	**Instrumento**	**Resultados**
Formular estrategias para la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la ganadería lechera. Caso de estudio Finca Villa Filomena, Tocancipá, Cundinamarca.	**1.** Diagnosticar a través de herramientas de recoleccion de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones de GEI.	Revisar literatura sobre diversos tipos de instrumentos para medir las variables de interés	Análisis documental, síntesis de la información	Base de datos, fichas de recolección de información, artículos de revistas de investigación	Se obtiene, a partir del diagnóstico inicial, los procesos susceptibles de análisis frente a emisiones de GEI
		Definir la(s) herramienta(s) aplicable(s) a la realización del diagnóstico	Análisis comparativo, discriminación de la información	Documentos sobre técnicas de recolección de datos cualitativos y cuantitativos	
		Trabajo de campo	Observación no estructurada, registro fotográfico	Fichas de observación, libreta de notas, cámara fotográfica, grabadora	
		Identificar los procesos susceptibles de análisis en torno a emisiones GEI como resultado del trabajo de campo	Síntesis de la información, síntesis de resultados	Análisis de contenido	
	2. Formular estrategias de reducción de GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema.	Realizar una revisión bibliográfica sobre la ganadería y su influencia en la emisión de GEI, así como de estrategias de reducción de las mismas en sistemas ganaderos	Análisis documental, síntesis de la información	Fichas de recolección de información, bases de datos, artículos de revistas de investigación	Articulación de las estrategias de reducción que mejor se adapten al sistema productivo de la finca
		Identificar las estrategias de reducción aplicables a la Finca de acuerdo a lo encontrado en la literatura y a los resultados obtenidos en la evaluación inicial	Síntesis de la información, síntesis de resultados	Análisis de contenido	
		Formular las estrategias de reducción de GEI	Análisis y síntesis de información recopilada, análisis comparativo - contrastar información	Análisis de contenido	
	3. Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción de GEI estructuradas para la finca.	Establecer los lineamientos para la elaboración de la hoja de ruta considerando la población a la que irá dirigida	Organizar la información, diseño de la plantilla base	Análisis de contenido, herramientas de diseño digital	Hoja de ruta con las estrategias de reducción de GEI estructuradas
		Diseñar la hoja de ruta a partir de las estrategias de reducción de GEI formuladas, para su aplicación	Construcción de la plantilla final	Procesador de texto (Microsoft Word), herramientas de diseño virtuales	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

7. Plan de trabajo

Para el desarrollo del proyecto de investigación se estableció el siguiente esquema en el cual se presentan las diferentes etapas de desarrollo del proyecto de investigación y el cronograma de trabajo donde se dan a conocer las semanas en las que se cumplió cada objetivo propuesto, respecto a la realización de las diferentes actividades.

Figura 7. *Etapas del proyecto investigativo.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

7.1 Cronograma

Tabla 4. *Cronograma de actividades.*

Objetivos Específicos	**Actividades**	**2018**											
		Agosto				**Septiembre**				**Octubre**			
		Semana											
		1	*2*	*3*	*4*	*1*	*2*	*3*	*4*	*1*	*2*	*3*	*4*
Diagnosticar a través de herramientas de recolección de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones GEI.	Búsqueda y selección de información												
	Compilación y síntesis de la información												
	Trabajo de campo												
	Análisis de la información												
Formular estrategias de reducción GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema.	Recopilación de información sobre ganadería y GEI												
	Recopilación de información sobre estrategias de reducción GEI												
	Reconocimiento y análisis de la información												
	Formulación de las estrategias												
Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción GEI estructuradas para la finca.	Lineamientos de elaboración de la hoja de ruta												
	Elaboración de la hoja de ruta a partir de las estrategias planteadas												
Finalización del documento - consideraciones finales													

Fuente: Elaboración propia, 2018

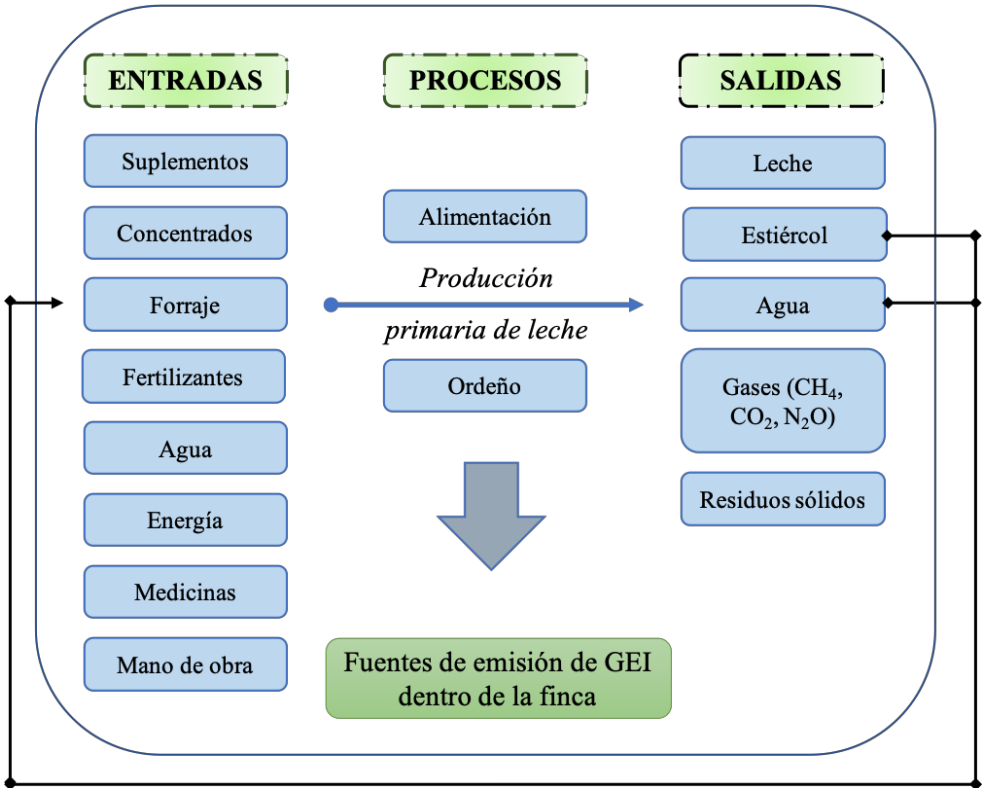
8. Resultados

8.1 Objetivo específico 1. Diagnosticar a través de herramientas de recolección de información cualitativa y cuantitativa, los procesos de la ganadería lechera en la finca susceptibles de análisis en torno a emisiones de GEI,

De acuerdo con el enfoque mixto del proyecto de investigación, se abarcaron diferentes aspectos correspondientes al funcionamiento del sistema de ganadería de leche en la finca Villa Filomena tomando en consideración, las prácticas del productor. Como se mencionó en lo referente a la metodología, se hizo uso de tres herramientas para el análisis interno de la finca con la finalidad de identificar puntos críticos respecto a los impactos ambientales que ésta genera, es especial aquellos relativos a emisiones de gases efecto invernadero.

Para el análisis inicial se puso en marcha el enfoque sistémico, ya que, por medio de éste, fue posible identificar los principales procesos que permiten el funcionamiento interno de la finca, los recursos con los que cuenta y el uso que se les da, determinando la eficiencia actual del sistema lo que hace posible realizar cambios en los procesos, de ser necesario, para mejorar el uso de las entradas y la eficiencia del proceso productivo. Es así como por medio del flujo de energía interno, el cual determina el funcionamiento adecuado de la finca, se identificaron fugas (emisiones) para las cuales es de gran importancia poner en marcha acciones que promuevan la mejora productiva del sistema, reduciendo pérdidas de energía y mejorando la eficiencia y rentabilidad del sistema (figura 8).

Figura 8. *Enfoque sistémico cualitativo de la finca Villa Filomena.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

De manera general, en la figura 8, se puede observar los procesos internos por los que atraviesa la producción lechera de la finca, considerados como la fuente principal de emisiones GEI. Esta información básica de tipo cualitativa sirvió como base para la elaboración del modelo cuantitativo del sistema, en la que se da a conocer la forma en la que interactúan los componentes, determinando además las cantidades de flujos que se presentan.

La finca cuenta con tres factores productivos básicos:

Figura 9. *Factores de producción básicos para la finca.*

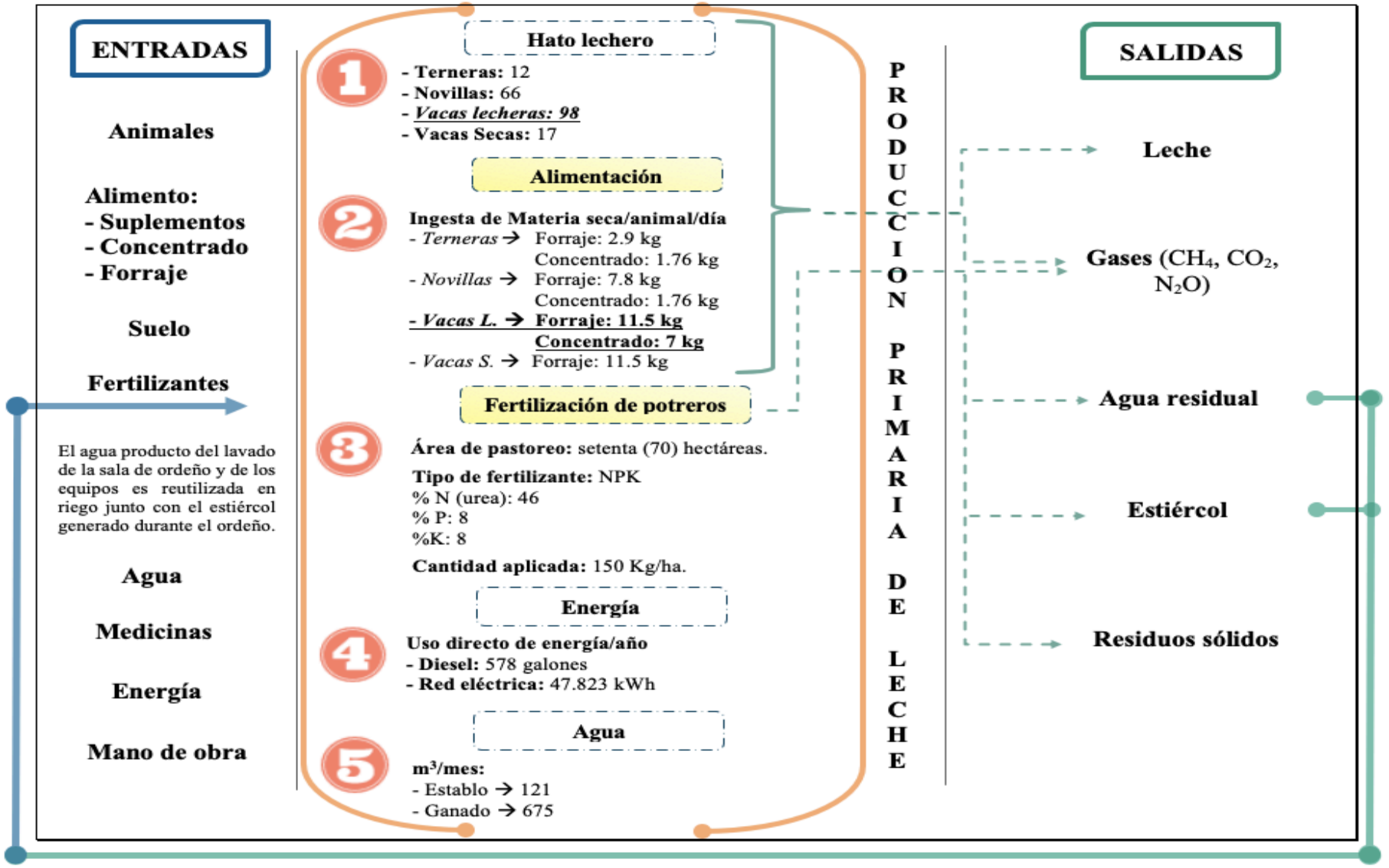
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Todos ellos hacen posible el adecuado funcionamiento de la finca sin dejar de lado insumos para el sistema como el alimento, los animales y demás. Todo esto permitió comprender los términos de eficiencia y productividad del sistema evaluando las técnicas utilizadas en el proceso productivo.

De acuerdo con las interacciones entre los componentes de la finca, se identificaron los diferentes aportes que hace el sistema al medio en el que se encuentra (figura 10). Estas contribuciones son el resultado de los procesos de transformación por los que atraviesan dichos componentes, los cuales se clasifican como productos principales, subproductos y residuos. En ese proceso de transformar las entradas en salidas, el producto principal es la leche, donde intervienen componentes como el alimento, agua, mano de obra y energía. Es importante aclarar que el hato lechero está constituido por terneras, novillas, vacas lecheras y vacas secas, donde cada una de ellas desempeña un papel fundamental en la productividad de la finca. Como subproductos se tienen los gases (CH_4, CO_2, N_2O), a causa del proceso de fermentación entérica del ganado, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el forraje y el proceso de combustión de la maquinaria agrícola; y el estiércol depositado por el ganado en el corral de espera, pues éste es confinado en un tanque estercolero. Finalmente, se tienen como residuos el agua generada después de la limpieza de la sala de ordeño, equipos y del corral de espera, aguas que son conducidas al mismo tanque estercolero ya que lo almacenado allí es usado posteriormente en el riego de potreros, principalmente en épocas de verano; y los residuos sólidos, constituido por envases de medicina veterinaria y productos químicos para limpieza y desinfección.

Lo anterior permitió comprender los flujos de energía (salidas) que aporta el sistema a partir de la transformación de las entradas para así poner especial atención en el objeto de estudio del proyecto, las emisiones GEI. De acuerdo con esto es posible mejorar el proceso de producción, sin embargo, con el fin de identificar de manera puntual el principal foco de emisiones de la finca y tomar decisiones frente la selección de las posibles alternativas de mejora se hizo uso de la herramienta Cool Farm Tool®, no sin antes realizar un análisis del proceso por medio del modelo FPEIR.

Figura 10. Modelo cuantitativo del sistema finca Villa Filomena.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se desarrolló el modelo FPEIR con el fin de describir y comprender las interacciones existentes entre el proceso de producción primaria de leche de la finca Villa Filomena y el ambiente (tabla 5). Este modelo se construyó con base en la información mostrada anteriormente, es decir la descripción de procesos e impactos. Por medio de este método de análisis fue posible ordenar dicha información de manera que fuera fácil entender el porqué de la problemática ambiental en la finca, qué lleva al productor a producir de la forma en que lo hace y cómo el proceso de producir leche genera presión, cuál es el estado en el que los componentes ambientales se encuentran, qué impactos a nivel local genera el proceso y qué respuestas hay por parte del sector político.

Tabla 5. *Análisis del modelo FPEIR para la producción primaria de leche.*

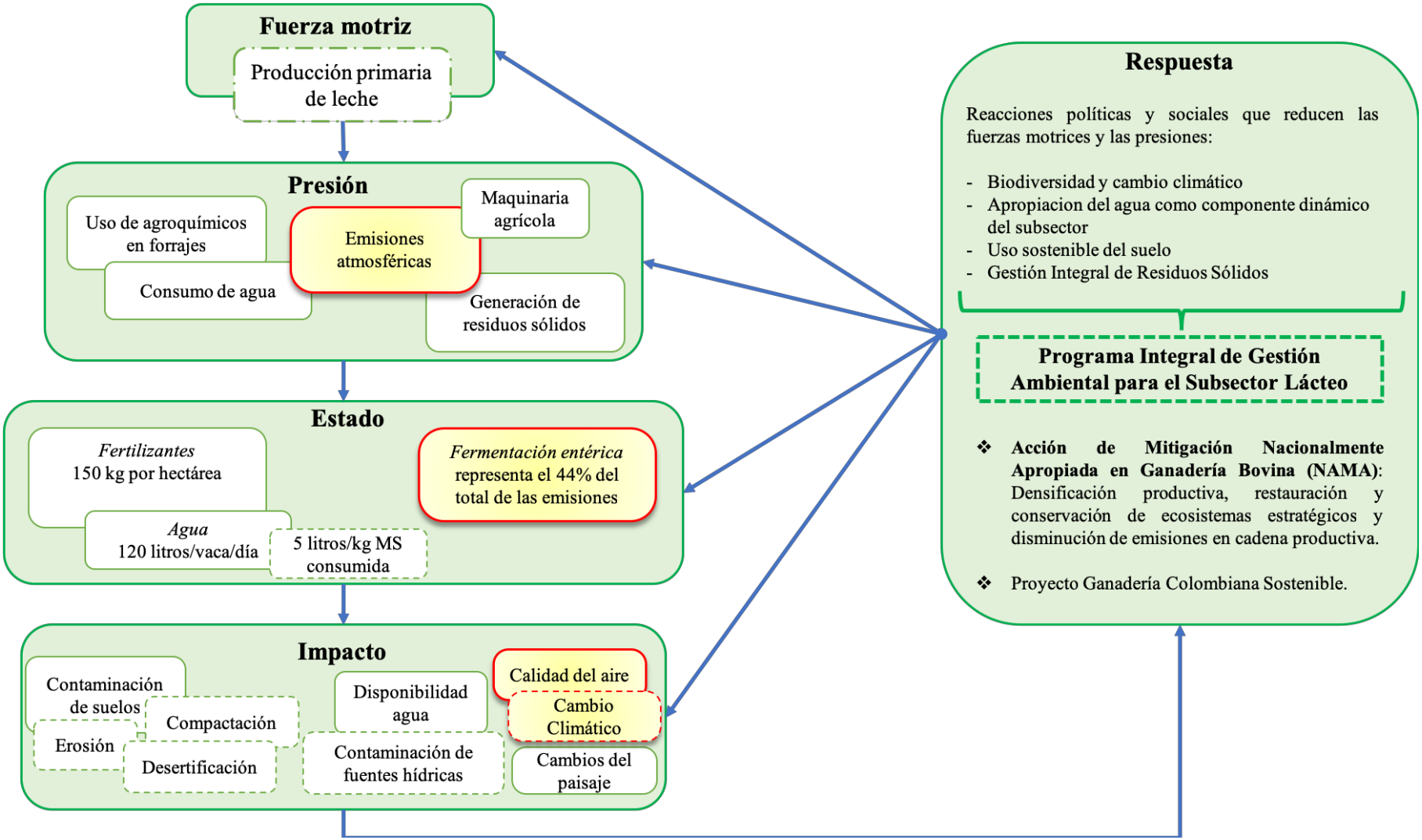
Componente	**Resultado**
Fuerza motriz	Corresponde a la fuerza económica que induce cambios en los procesos de degradación ambiental de la finca, permitiendo una comprensión adecuada del estado del sistema productivo relacionado con el uso de la tierra, prácticas de manejo, recursos naturales e insumos.
Presión	La producción primaria de leche genera presiones sobre el sistema natural de la finca, conduciendo a cambios en dicho sistema. Para este caso se hace referencia a procesos nocivos como las emisiones, el uso de agroquímicos y maquinaria agrícola, la generación de residuos sólidos y el consumo de agua.
Estado	Este se refiere a las condiciones en las que se encuentran los componentes ambientales tras haberse ejercido presión sobre ellos. Se tiene en cuenta escenarios de tipo cuantitativo del sistema, haciendo especial énfasis en la fermentación entérica.
Impacto	Los aportes que realiza la ganadería de leche respecto a emisiones de GEI repercute en la calidad del aire, lo que hace alusión a los efectos específicos de una presión (fermentación entérica) en el funcionamiento del ecosistema.
Respuesta	Se trata de las estrategias de tipo político y social que permiten que la producción primaria de leche y sus presiones sean reducidas. Además, estas ayudan a mejorar el sistema productivo.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Este sistema productivo de leche acarrea diversas problemáticas ambientales, pues la visión que tiene el productor sobre el proceso de producción es meramente económica, esto quiere decir que no se presta particular atención a los impactos que son generados en el desarrollo de las diferentes actividades que se dan dentro del sistema. La figura 11 presenta el modelo FPEIR para la producción primaria de leche.

Por otro lado, se obtuvo la huella de carbono analizada en el sistema lechero de la finca. Para su desarrollo se ingresaron datos específicos (Anexo 1) de los componentes del sistema a la calculadora Cool Farm Tool® la cual arrojó las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4) generadas por cada uno de los componentes, los cuales se encuentran divididos de la siguiente manera: pastoreo (*grazing*), fertilización del pasto (*grassland fertilization*), alimentación (*feed production*), fermentación entérica (*enteric fermentation*), manejo del estiércol (*manure management*) y energía y procesamiento (*energy & processing*), de igual forma con el total de emisiones para la finca en kilogramos de dióxido de carbono equivalente (kg CO_2eq).

Figura 11. *Modelo FPEIR para la producción primaria de leche finca Villa Filomena.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

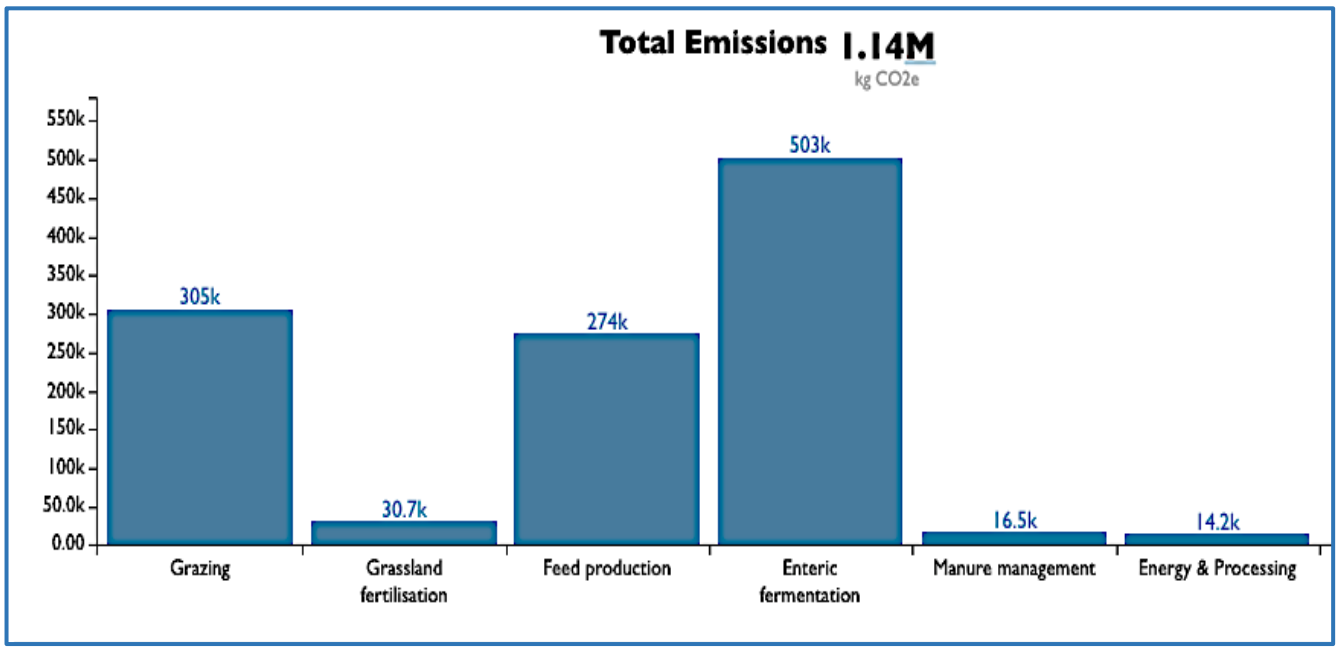
Los principales procesos que contribuyen a las emisiones de GEI procedentes de la ganadería en la lechería de Villa Filomena provienen, en primer lugar, de la fermentación entérica con un valor de 502.532 kg CO_2 eq representando el 44% del total de las emisiones y, en segundo lugar, se encuentra el pastoreo de los animales con una producción de 304.782 kg CO_2 eq lo que corresponde al 27% del total de las emisiones. Lo anterior, se puede ver evidenciado en el resumen de la tabla 6 y la figura 12.

Tabla 6. *Huella de carbono de la finca Villa Filomena.*

RESUMEN					
Variedad (raza del ganado)			*Holstein*		
Año			*2017*		
Producto final			*749.256 litros de leche*		
Emisiones GEI					
Total			***1.142.597 kg CO_2 eq***		
Todos los valores en kg					
Por componente:	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**Total CO_2 eq**	**%**
Pastoreo	304.782	0	0	304.782	27
Fertilización de pastos	780,03	100,57	0	30.749	3
Alimentación	273.781	0	0	273.781	24
Fermentación entérica	0	0	20.101	502.532	44
Manejo del estiércol	0	0	661,24	16.531	1
Energía y procesamiento	14.222	0	0	14.222	1

Fuente: Elaboración propia con base en la herramienta Cool Farm Tool, 2018.

Figura 12. *Emisiones totales por componente.*



Fuente: Cool Farm Tool (Cool Farm Alliance), 2018.

La mayoría de las emisiones de metano provienen de la fermentación entérica del hato ganadero, producto de su proceso digestivo normal. El metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) son el resultado natural de la actividad microbiana de los carbohidratos y los aminoácidos que se encuentran en el rumen e intestino grueso del bovino. El CH_4 es producto de condiciones anaeróbicas estrictas, proceso que es llevado a cabo por procariotas metanógenas altamente especializadas. Estas emisiones representan el 44% del total de las emisiones GEI de la finca con una producción anual de 20.101 kg de CH_4, teniendo como principal causa la dieta del ganado ya que ésta es abundante en carbohidratos estructurales los cuales están contenidos en el pasto, lo que propicia la formación de acetato y de grupos metilo que actúan como base para la formación del metano (Hristov *et al.,* 2013).

Como segunda fuente de emisiones, se encuentra el pastoreo del ganado. Éste tiene un porcentaje de emisión del 27% y corresponde a 304.782 kg de CO_2 procedentes posiblemente de la degradación de los pastizales. Dicha degradación genera una disminución en la productividad vegetal, al igual que cambios en las reservas de nutrientes, carbono y, en el ciclo del sistema. Esto conlleva, a que se reduzcan las tasas de fijación y de acumulación en la biomasa del carbono, presentando caídas en las cantidades de carbono orgánico del suelo como causa del pastoreo continuo. Lo anterior hace que se presenten emisiones considerables de CO_2 (Steinfeld *et al.,* 2006).

8.2 Objetivo específico 2. Formular estrategias de reducción de GEI a partir de los hallazgos encontrados en el diagnóstico inicial y la revisión de documentación clave en el tema.

La reducción de GEI en la ganadería abarca el reconocimiento de las diferentes fuentes de emisión en el sistema productivo. Es así como, las estrategias o actividades de disminución pueden estar orientadas a limitar la producción de dichos gases o a incrementar las fuentes sumidero de compuestos que fomentan su formación. Se cuenta con múltiples opciones técnicas para la reducción de emisiones GEI a lo largo del ciclo productivo ganadero, las cuales están incorporadas en 4 categorías: a) aquellas que se encuentran relacionadas con complementos en los concentrados, su manejo y el de la alimentación (enfocado al CH_4); b) las relacionadas con el manejo del estiércol, centradas en sus fases de gestión (almacenamiento, manipulación y aplicación); c) prácticas y tecnologías de manejo animal y reproductivo (cría de animales) y d) el manejo y mejoramiento de praderas y fuentes alimenticias.

Debido a que la mayor parte de las emisiones GEI en la finca provienen de la fermentación entérica, se hace especial énfasis en las estrategias de reducción que se enfoquen en la disminución de la producción de metano (CH_4) entérico, sin comprometer la producción animal, como se muestra a continuación:

8.2.1 Manejo de la alimentación animal (mejoramiento de la calidad del alimento)

La mejora en el contenido de energía y la digestibilidad del alimento, incluyendo el suministro de proteína que cubra los requerimientos del animal puede ponerse en marcha por medio de un mejor manejo de pastizales, aumentar el uso de suplementos alimenticios y mejorar la calidad de los pastos con el fin de conseguir una dieta equilibrada. Esto permite un incremento en la absorción de nutrientes, aumento en la productividad y fertilidad del animal y la reducción de emisiones (por unidad y totales).

Para superar limitaciones con respecto a la alimentación del ganado y reducir las emisiones de metano, se encuentran técnicas como la suplementación. Las de mayor posibilidad de adopción por parte del productor se hallan relacionadas con el uso del alimento proveniente de pastos de buena calidad y follajes

arbóreos. Los concentrados ricos en azúcares y almidón generan una disminución en la producción de metano, puesto que se minimizan en el rumen las fuentes de hidrógeno y aumenta la degradación del alimento, su flujo ruminal y la captura de hidrógeno, ya que hay una mayor producción de ácido propiónico. Entre otras fuentes de suplementación que tienen como fin el mejoramiento de la calidad alimenticia se encuentran el nitrógeno (N – solución de úrea); la incorporación de nitrato, calcio, fósforo, cobre y zinc; los alimentos concentrados y los aditivos (grasas, hormonas, promotores de crecimiento) (Alayón *et al.,* 2018).

Otra buena opción de suplementación es a base de ensilajes de maíz o leguminosas, soya o almidón, no solo por la reducción en la producción de metano, sino también, por la disminución en la excreción de nitrógeno a través de la orina. También se encuentra el uso de lípidos, de aceite vegetal o grasa animal, ya que permiten un aumento en la eficiencia alimenticia, sin embargo, se debe prestar especial cuidado puesto que su efecto depende de la composición, requiriendo de más investigación respecto a los efectos sobre la productividad (Steinfeld *et al.,* 2006).

Otra tecnología que se está poniendo en práctica es la alimentación de precisión. Ésta radica en la obtención de los nutrientes adecuados para el animal, ya que los requerimientos nutricionales de éstos cambian a lo largo de su ciclo productivo, lo que puede dar lugar a grandes mejoras en términos de eficiencia alimenticia y productividad, mejorando directamente la rentabilidad de la explotación ganadera (Alayón *et al.,* 2018).

8.2.2 Modificación del sistema ruminal

Por otro lado, se cuenta con opciones respecto a la modificación del sistema ruminal de la vaca. La fermentación ruminal puede ser intervenida a través de diversas técnicas que estimulan la captura de hidrógeno disponible en el rumen, por consiguiente, se reducen las emisiones de CH_4. Entre los inhibidores de metano más importantes se encuentran los ionóforos, ácidos orgánicos, aceites insaturados, análogos de metano halogenados y los metabolitos secundarios de las plantas (MSP). También se están utilizando vacunas y probióticos contra los metanógenos (Gerber *et al.,* 2013), pues se han venido desarrollando investigaciones en las que se afirma que las vacunas pueden llegar a estimular el sistema inmune de la vaca contra los metanógenos.

Los metabolitos secundarios de las plantas, como aditivo para intervenir la fermentación ruminal, han sido los más importantes debido a que se han encontrado diferentes ventajas con respecto a su uso. Los MSP, brindan mayor seguridad que los compuestos sintéticos, ya que se presentan de manera natural en las plantas y tienen un potencial de inhibición de CH_4 de medio a alto. Estos metabolitos, han mostrado la habilidad que poseen para inhibir la metanogénesis y la población de arqueas metanógenas (Bhatta *et al.,* 2015).

8.2.3 Sistemas silvopastoriles

Estos sistemas son una modalidad de tipo agroforestal pecuario que tiene como finalidad la producción de carne y leche y otro tipo de bienes. En los sistemas silvopastoriles hay una interacción de una o más especies de diversos estratos en el mismo espacio. El estrato herbáceo, por ejemplo, hace referencia a gramíneas forrajeras de tipo local o introducidas y a plantas leguminosas herbáceas; se encuentra además un estrato de arbustos de alta densidad para el ramoneo del ganado. Estos arbustos facilitan la función de fijación de nitrógeno atmosférico, protegen el suelo de la erosión y evita la compactación del mismo a

causa del pisoteo del ganado, optimizan el reciclaje de nutrientes y es el hábitat de diversidad de microorganismos biológicos controladores (plagas de pastos, ectoparásitos del ganado).

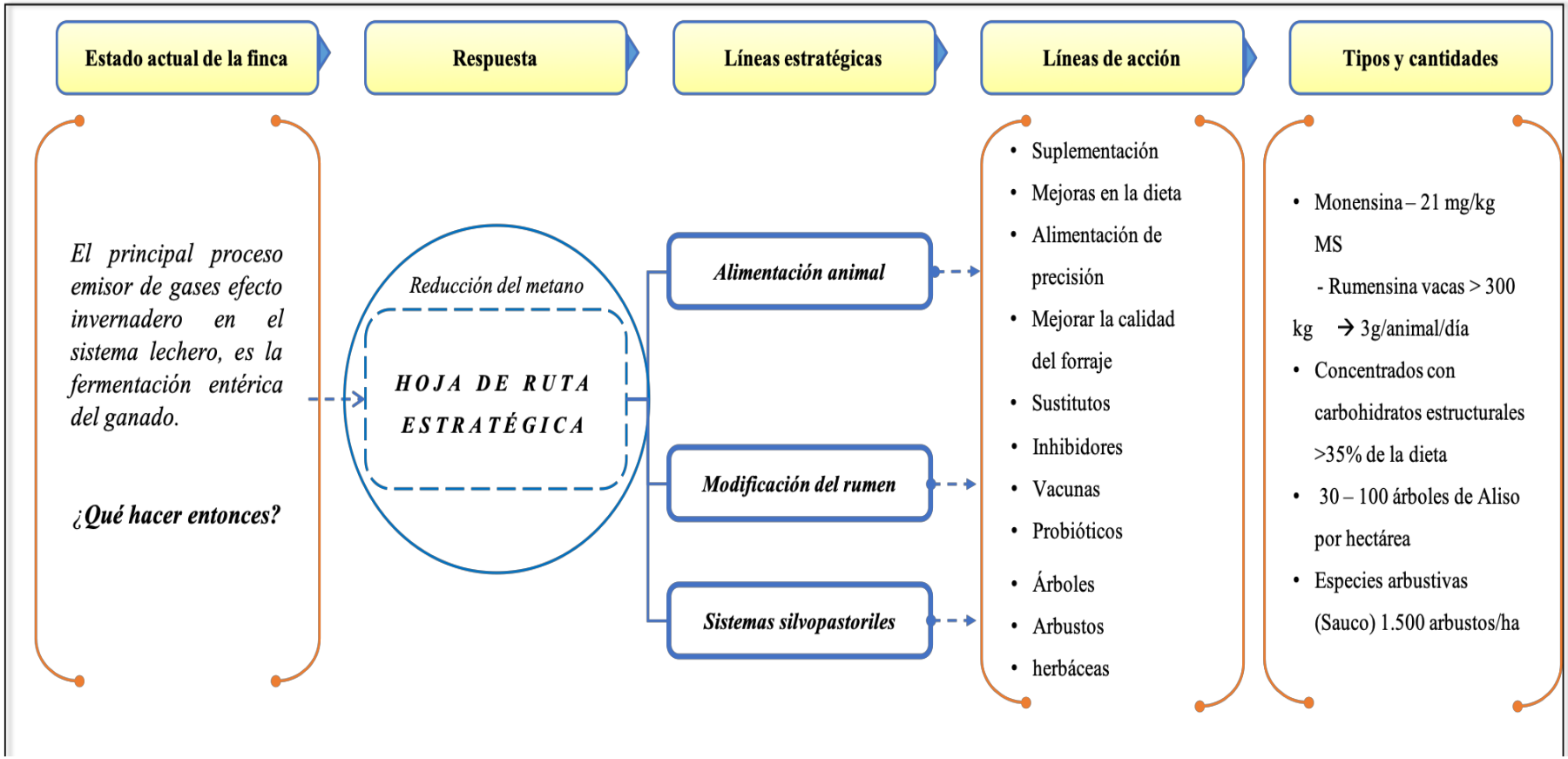
Los sistemas silvopastoriles permiten un mejor acceso a alimentación en épocas de sequía para el ganado, lo que reduce además crisis de tipo reproductivo asegurando una mayor productividad de leche o carne a menores costos financieros. La mayor ventaja se presenta con respecto al aumento de la carga animal y consecuentemente con la producción de leche por hectárea-año, evidenciándose productos de mejor calidad nutricional (Murgueitio *et al., 2015*).

A través de la introducción de árboles de tipo leguminoso en los potreros se da un incremento en la calidad del forraje en la pastura con la cual se encuentran asociados, lo que le permite conservar grandes valores de proteína en época de invierno. En adición, la cantidad del forraje disponible para los animales se puede incrementar, dependiendo del manejo que se le de a los árboles (densidad, cobertura de copa), especies de forraje involucrados y su condición. Así mismo, cuando hay condiciones de sequía se estabiliza la producción de forrajera ya que se provee forraje por medio del follaje o frutos. Lo anterior posibilita la mejora en el manejo y la eficiencia de la ganadería ().

8.3 Objetivo específico 3. Elaborar una hoja de ruta para la aplicación de las estrategias de reducción de GEI estructuradas para la finca.

La hoja de ruta plantea de una manera sencilla los pasos básicos a seguir para llegar a un estado óptimo de emisiones GEI en la finca. Con base en el estado en el que se encuentra la finca actualmente, se definieron dos líneas estratégicas con las cuales contrarrestar principalmente las emisiones de metano entérico (generadas en el proceso digestivo normal de las vacas) las cuales son la mayor fuente en el sistema productivo (figura 12).

Figura 13. *Hoja de ruta para la reducción de metano.*



Fuente: Elaboración propia, 2018.

9. Análisis y discusión de resultados

Herramientas como el enfoque sistémico y el modelo FPEIR hicieron posible la identificación de los principales procesos que permiten el funcionamiento interno de la finca, los recursos con los que cuenta y el uso que se les da, determinando la eficiencia actual del sistema lo que hace posible realizar cambios en los procesos, de ser necesario, para mejorar el uso de las entradas y la eficiencia del proceso productivo. A través del flujo de energía interno, el cual determina el funcionamiento adecuado de la finca, se identificaron fugas para las cuales es de gran importancia poner en marcha acciones que promuevan la mejora productiva del sistema, reduciendo pérdidas de energía y mejorando la eficiencia y rentabilidad del sistema.

De acuerdo con Navas Panadero & Velásquez Mosquera (2014), los sistemas productivos agropecuarios cuentan con escenarios internos que son el resultado de interacciones entre sus componentes y llevar a cabo el análisis y evaluación de dichas interacciones permite el reconocimiento de los diferentes procesos que se desarrollan, ya que éstos establecen el uso de los recursos que tiene el sistema; es decir, se puede realizar un análisis de la eficiencia del sistema y hacer los cambios necesarios en los procesos con la finalidad de mejorar el uso de la entradas.

Por lo anterior, fue posible comprender los flujos de energía que aporta el sistema a partir de la transformación de las entradas e identificar de manera puntual el principal foco de emisiones de la finca para tomar decisiones frente a la selección de las posibles alternativas de mejora. Es así como, el modelo FPSIR permitió entender las interrelaciones existentes entre una actividad económica como la ganadería especializada de leche y el ambiente, ya que a través de dicho esquema fue posible estructurar las relaciones causa-efecto afines a los conflictos de gestión respecto al ambiente y los recursos naturales.

Para Fernández & Enriquez (2010), la fuerza motriz se considera la causa externa del hecho a analizar o los factores que marcan el cambio, como los sectores económicos, esto conlleva a que se ejerzan presiones en el ambiente y se manifiesten como una amenaza en forma de emisiones o residuos lo que conduce al sistema a estados biológicos, físicos, químicos y ecológicos, generando impactos en los ecosistemas y la salud humana. Todo esto supone unas respuestas por parte de gobiernos e instituciones mediante la puesta en marcha de planes, programas y proyectos donde se anteponen las problemáticas y se determinan metas.

La calculadora de emisiones usada en el proceso de identificación de los focos de emisiones GEI, es de fácil acceso y comprensión, lo que la hace una herramienta eficaz para la evaluación de sistemas agropecuarios, en general. Con respecto a su diseño, fue desarrollada para su fácil entendimiento, según la Cool Farm Alliance (2016). Su base se centra en los métodos sugeridos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para el análisis de inventarios GEI, razón por la cual se hizo uso de la misma en el análisis de la finca.

10. Conclusiones y recomendaciones

- Gracias a la calculadora de la huella de carbono fue posible identificar los puntos principales de emisiones de gases efecto invernadero presentes en la finca. Ésta es una herramienta de gran utilidad para productores agrícolas y pecuarios, pues les brinda información sobre el estado de la finca a nivel ambiental, permitiéndoles tomar acción frente a cualquier fuga que implique baja productividad.

- Teniendo en cuenta que el 95% de las emisiones provienen de la fermentación entérica, el pastoreo y el manejo de la alimentación, es en estas prácticas que deben concentrarse los esfuerzos iniciales para obtener disminuciones importantes en las emisiones de metano y carbono.

- La ganadería, como ya se ha discutido, contribuye en gran medida a la contaminación atmosférica y por ende al calentamiento global, sin embargo, gracias a diversos procesos investigativos que se han desarrollado y a estudios que se siguen adelantando, se cuenta con múltiples opciones para la disminución y/o mitigación de sus emisiones. Aún así, queda mucho camino por recorrer en lo que concierne a dicho tema y si se quiere lograr un escenario ideal en lo que respecta a Gases Efecto Invernadero para un sector productivo como el de la ganadería en el país, es imperante el apoyo gubernamental con la participación de políticas públicas, ya que para los criadores la acogida de medidas de reducción GEI por si solos significa un alto costo, haciendo difícil su puesta en marcha y optar por sensibilizarlos no asegura la adopción de las mismas.

- El enfoque sistémico permitió el análisis integral y holístico del sistema de producción, ayudando a determinar que factores, tanto externos como internos, lo afectan. Así mismo, fue capaz de ayudar a comprender las interacciones que se dan entre los componentes, con el fin de que puedan ser reestructurados para dar solución a los diversos problemas que presente el sistema.

- La metodología propuesta de pensamiento sistémico como herramienta de análisis del sistema productivo, actuó como orientación clave para el diagnóstico, identificación y priorización de problemas, contribuyendo a la búsqueda de soluciones reales con base en recomendaciones pertinentes.

- Las acciones que se están llevando a cabo por parte del gobierno en materia de mitigación de gases efecto invernadero en la ganadería, son relativamente nuevas. Algunas de ellas como, por ejemplo, la NAMA en ganadería bovina, no se ha puesto en marcha todavía y es preciso que se empiece a trabajar más profundamente a nivel ambiental, en los sistemas de producción pecuarios. Es importante agregar que, la Federación Colombiana de Ganaderos junto con el centro de investigación en sistemas sostenibles de producción pecuaria han aunado esfuerzos para llevar a cabo actividades respecto a ganadería sostenible; no obstante, estas no se han sido implementadas aún en zonas del trópico alto.

- Se recomienda que las estrategias de reducción de emisiones GEI identificadas para la finca sean tomadas en cuenta, ya que éstas representan en la mayoría de los casos, aumento en la productividad del ganado y por tanto traerá consigo importantes impactos a nivel económico para el sistema productivo.

12. Referencias

Alayón, J. A., Jiménez, G., Piñero, A.T., Canul, J., Albores, S., Villanueva, G., Nahed, J. & Ku-Vera, J. C. (2018). Estrategias de mitigación de Gases Efecto Invernadero en la ganadería, *Agroproductividad 11*(2), 9-15.

Alcaldía de Tocancipá, C.m. (2010). *Acuerdo 09 de 2010*. Tocancipá. Recuperado de: http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co/index.shtml?apc=I-xx-1&x=1800929&s=C&m=E

Alcaldía de Tocancipá. (2015). *Observatorio Ambiental de Tocancipá*. Tocancipá. Recuperado de: http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co/index.shtml?apc=Cvxx--1802765&x=1467328

Arboleta, D., Tombe, A., Morales, S., & Vivas, N. (2013). Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: en sistemas de producción ganadera del trópico alto colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 154-163.

Bhatta R. (2015). Reducing Enteric Methane Emission Using Plant Secondary Metabolites. En: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.). Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. Springer Delhi. pp. 273-284.

Caballero, M., Lozano, S. & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria UNAM.* 8(10).

Calvet Sanz, S. (2015). Contaminación atmosférica, mitigación y adaptación a través de la nutrición animal. *NutriNews*, [6-14].

Carmona, J. C., Bolívar, D. M. & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18*(1).

CIPAV. (2017). Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Recuperado de: https://www.cipav.org.co/areas_de_investigacion/Ganaderia_colombiana_sostenible_que_es.html

Congreso de Colombia. (16 de julio de 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. [Ley 9 de 1979] DO: 35.308.

Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. [Ley 99 de 1993]. DO: 41.146.

Congreso de Colombia. (8 de febrero de 1994). Ley general de educación. [Ley 115 de 1994]. DO: 41.214.

Congreso de Colombia. (28 de octubre de 1994). Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992. [Ley 164 de 1994]. DO: 41.575.

Congreso de Colombia. (27 de diciembre de 2000). Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. [Ley 629 de 2000]. DO: 44.272.

Congreso de la República. (14 de julio de 2017). Por medio de la cual se aprueba el "Acuerdo de París", adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia. [Ley 1844 de 2017]. DO: 50.294.

Congreso de Colombia. (27 de julio de 2018). Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático. [Ley 1931 de 2018]. DO: 50.667.

Constitución Política de Colombia [Const.]. (1991). Edición especial preparada por la Corte Constitucional. Recuperado de: http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf el 22 de septiembre de 2018.

Cool Farm Alliance. (2016). The Cool Farm Tool, a User's Guide, For Use with the CFT Version 2.0. United States.

Departamento Nacional de Planeación. (2010). Documento CONPES 3675. Bogotá D.C.

Departamento Nacional de Planeación. (2010). Documento CONPES 3676. Bogotá D.C.

Departamento Nacional de Planeación. (2011). Documento CONPES 3700. Bogotá D.C.

FEDEGAN. (2017). Federación Colombiana de Ganaderos. Recuperado de: http://www.fedegan.org.co/programas/ganaderia-colombiana-sostenible

Ferri, C. M., Sáenz, A. M. & Jouve V. V. (2015). Términos de uso frecuente en producción y utilización de pasturas. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam* 25 (1), 41-61.

Fernández E. & Enríquez M. (2010). Metodologías para la evaluación y mejora del impacto ambiental de los sistemas ganaderos: análisis comparado y posibilidades de aplicación en el sector de los pequeños rumiantes de Andalucía.

García Carrasco, D. (2016). Aspectos generales sobre el rumen y su fisiología. Recuperado de https://www.ganaderia.com/destacado/Aspectos-generales-sobre-el-rumen-y-su-fisiolog%C3%ADa

GELT, E. d. (2017). *Tocancipá Alta Competitividad con Desarrollo y Proyección.* Recuperado de: http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co/territorios.shtml?apc=bbxx-1-&x=1800002

Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Opio, C., Dijkman, J. F., & Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones.* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid E., Rufino, M., Mosnier, A., Thornton, P., Böttcher H., Conant, R., Frank, S., Fritz, S., Fuss, S., Kraxner F. & Notenbaert, A. (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* doi: 10.1073/pnas.1308044111

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ta ed. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Herrero, M., Thornton, P., Gerber, P. & Reid., R. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability.* (1), 111-120.

Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO_2. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. *Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177.* FAO, Roma, Italia.

Holter, J. & Young, A. (1992). Methane Prediction in Dry and Lactating Holstein Cows. *Journal of Dairy Science.* 75(8), 2165-2175.

ICA. (2017). Instituto Colombiano Agropecuario. Recuperado de: https://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaria/Servicios/Inocuidad-en-las-Cadenas-Agroalimentarias/LISTADO-DE-PREDIOS-CERTIFICADOS-EN-BPG.aspx

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA. (2015). Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

Leiva Barón, F., León Rodríguez, N., Castellanos Domínguez O., Tobón Ramírez, C., Zambrano Martínez, L., Puentes Pérez, G. & Becerra Andrade, M. (2016). Formulación de un Programa Integral de Gestión Ambiental para un Subsector Agropecuario (PGAS): Subsector Lácteo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Lombana Coy, J., Martínez Martelo, D., Valverde Sánchez, M., Rubio Oquendo, J., Castrillón Cifuentes, J. & Marino Manga, W. (2012). Caracterización del sector ganadero del Caribe colombiano. Barranquilla: Universidad del Norte.

Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 213-224.

Malagón Manriquez, R. & Prager Mosquera, M. (2001). EL ENFOQUE DE SISTEMAS: Una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (24 de febrero de 2016). "Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones". [Decreto 298 de 2016]. DO: 49.796.

Ministerio de la Protección Social. (28 de febrero de 2006). Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expenda, importe o exporte en el país. [Decreto 616 de 2006]. DO: 46.196.

Montiel, B. (2015). Aprenda todo sobre la ganadería sustentable. Recuperado de https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/aprenda-todo-sobre-la-ganaderia-sustentable el 22 de septiembre de 2018.

Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N. & Teran-Gómez, V. (2016). Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,* 14(1), 135-144. doi: 10.18684/BSAA(14)135-14

Moss, A., Jouany, J. P. & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* (49), 231-253.

Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M. & Molina, J. J. (2015). Los sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina alternativa sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. *Cuban Journal of Agricultural Science, 49*(4).

Navas Panadero, A. & Velásquez Mosquera, J. C. (2014). Enfoque sistémico en el análisis de sistemas de producción agropecuaria: una mirada más allá de lo disciplinar. *Revista Ciencia Animal,* (7), 99-110.

Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2008). “Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático CMNUCC”.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, *s.f.*). Introducción a la Producción más limpia. Recuperado de https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf

Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC. “Tercer informe de evaluación, Anexo B”. 2001, P 175. Documento electrónico.

Presidencia de la República. (18 de diciembre de 1974). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. [Decreto 2811 de 1974]. DO: 34.243.

Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L. & Prasad, C. (2015). Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. En Buccioni, A., Cappucci, A. & Mele, M., Livestock Role in Climate Change (pp. 141-221). India: Springer.

Serrano Martínez, E. & Ruiz Mantecón, A. (2003). Bases para un desarrollo ganadero sostenible: la consideración de la producción animal desde una perspectiva sistémica y el estudio de la diversidad de las explotaciones. *Estudios Agrosociales y Pesqueros* (199), 159-191.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., & Haan C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Thornton, P. & Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* doi: 10.1073/pnas.0912890107