



Propuestas de implementación de estrategias de producción más limpia para la explotación
lechera en una finca de la vereda de Sirigay ubicada en San Miguel de Sema Boyacá

Estefania Castellanos Rodriguez ID: 687603

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Sede Principal

Sede Bogotá D.C. - Sede Principal

Programa Ingeniería Industrial

mayo de 2023

Propuestas de implementación de estrategias de producción más limpia para la explotación
lechera en una finca de la vereda de Sirigay ubicada en San Miguel de Sema Boyacá

Estefania Castellanos Rodriguez ID: 687603

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

Msc. Jairo Alexander Camacho Ospina

Codirector

Msc. Andrés Felipe Urquijo Rodríguez

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Sede Principal

Sede Bogotá D.C. - Sede Principal

Programa Ingeniería Industrial

mayo de 2023

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
CAPITULO I	11
1 Planteamiento del problema	11
1.1 Problemática	11
1.2 Pregunta problema	12
CAPÍTULO II	13
2 Objetivos	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
CAPÍTULO III	14
3 Justificación.....	14
CAPITULO IV.....	16
4 Antecedentes	16
4.1 Energía Solar fotovoltaica:	16
4.2 Energía eólica	17
4.3 Energía híbrida:	17
CAPÍTULO V	19
5 Marco teórico.....	19
5.1 Descripción del territorio	19
5.2 Industria láctea y aspectos importantes.....	20
5.3 Conceptos sobre PML y soluciones renovables	22
CAPITULO VI.....	35
6 Metodología.....	35
CAPITULO VII	37
7 Resultados.....	37

CAPITULO VIII	57
8 Discusión	57
CAPITULO IX	59
9 Conclusiones	59
10 Referencias.....	62

Lista de tablas

Tabla 1 Parámetros para la determinación de la carga	29
Tabla 2 Detalle de los parámetros de la determinación de la carga.....	30
Tabla 3 Parámetros para la determinación del tamaño de las baterías	31
Tabla 4 Parámetros para la determinación del tamaño del arreglo PV.....	32
Tabla 5 Diagnóstico inicial.....	39
Tabla 6 Conclusión de los datos arrojados del diagnóstico	44
Tabla 7 Detalles del sistema de alimentación.....	49
Tabla 8 Detalles del panel solar	49
Tabla 9 Especificación de las baterías	50
Tabla 10 Detalles del inversor	50
Tabla 11 Partes del sistema.....	53
Tabla 12 Estudio de costos.....	55

Lista de figuras

Figura 1 Sistema fotovoltaico en el proceso de ordeño.....	16
Figura 2 Sistema de energía híbrida.....	18
Figura 3 Ubicación San Miguel Sema Boyacá.....	19
Figura 4 Esquema de funcionamiento de una Celda.....	26
Figura 5 Panel policristalino	27
Figura 6 Panel monocristalino.....	28
Figura 7 Tipo de ordeño	37
Figura 8 Conocimiento sobre energía fotovoltaica.....	38
Figura 9 Disposición de invertir en sistemas renovables de ordeño	39
Figura 10 Sistema fotovoltaico diseño de máquina de ordeño	46
Figura 11 Pastoreo adaptativo multi-parcelas (AMP).....	47
Figura 12 Diseño del sistema fotovoltaico.....	54

Resumen

La protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales se han convertido en temas de vital importancia en la actualidad. Conscientes de esta necesidad, las industrias están adoptando estrategias de producción más limpia (PML), para mitigar los impactos ambientales generados por sus procesos productivos. En el caso específico de este proyecto, se busca evaluar las etapas del proceso de explotación lechera en una finca ubicada en la vereda Sirigay en San Miguel de Sema, Boyacá, con el propósito de proponer estrategias de PML que reduzcan el impacto ambiental, como la emisión de gases de efecto invernadero, la deforestación y el deterioro del suelo.

Las estrategias de PML que se implementarán en este proyecto tendrán múltiples beneficios. En primer lugar, contribuirán al ahorro de energía, lo que a su vez reducirá los costos de operación para la finca. Asimismo, se promoverá el ahorro de materia prima, lo que implica un uso más eficiente de los recursos disponibles. Además, estas estrategias fomentarán la mejora continua de los procesos productivos, lo que llevará a una mayor eficiencia y calidad en la producción de la leche. Por último, el cumplimiento de las normativas ambientales fortalecerá la imagen de la finca y abrirá oportunidades de acceso a mercados que valoran y priorizan las prácticas ambientalmente amigables. Por lo tanto, estas medidas representan una oportunidad importante para asegurar la sostenibilidad de la producción lechera y para adaptarse a las demandas de los mercados actuales, que cada vez valoran más las prácticas productivas responsables desde el punto de vista ambiental.

Palabras clave: Estrategias PML, Medio ambiente, Impacto ambiental, Emisiones, Gases de efecto invernadero, sistemas fotovoltaicos, ganadería regenerativa

Abstract

The protection of the environment and the sustainable use of resources have become of vital importance in today's world. Aware of this need, industries are adopting cleaner production strategies (CPS) to mitigate the environmental impacts generated by their production processes. In the specific case of this project, the aim is to evaluate the stages of the dairy farming process on a farm located in the Sirigay region in San Miguel de Sema, Boyacá, with the purpose of proposing CPS strategies that reduce environmental impact, such as greenhouse gas emissions, deforestation, and soil degradation.

The CPS strategies to be implemented in this project will have multiple benefits. Firstly, they will contribute to energy savings, thereby reducing operating costs for the farm. Additionally, they will promote the conservation of raw materials, implying a more efficient use of available resources. Moreover, these strategies will foster continuous improvement of the production processes, leading to increased efficiency and quality in milk production. Lastly, compliance with environmental regulations will strengthen the farm's image and open up opportunities for accessing markets that value and prioritize environmentally friendly practices. Therefore, these measures represent a significant opportunity to ensure the sustainability of dairy production and adapt to the demands of current markets, which increasingly value environmentally responsible production practices.

Keywords: PML Strategies, Environmental impact, Emissions of greenhouse gases, photovoltaic systems, regenerative livestock farming

Introducción

La producción más limpia (PML), tiene como objetivo principal reducir riesgos de contaminación en el medio ambiente a través de estrategias integradas que conllevan a la prevención, permitiendo reducir costos de producción y la disminución del consumo energético, la materia prima, el agua, y en general los materiales que se utilizan en los procesos productivos. Además, como lo menciona (Avalos Ortecho, 2018) “ayuda a las empresas a cumplir con las regulaciones ambientales, incrementando su productividad y también permite proteger los recursos ambientales, es decir, tiene un considerable potencial para contribuir económicamente en gasto de operación, así como con la sostenibilidad ambiental”.

De acuerdo con lo anterior, las PML son estrategias a implementar para mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente, que generan las diferentes industrias. Específicamente, la industria alimentaria que es una de las responsables de tales efectos negativos sobre el medio ambiente. Según (EFEverde, 2016) “los sistemas actuales de producción de alimentos son responsables del 60% de la pérdida de biodiversidad a nivel global, y del 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero”. Por lo tanto, dentro de los riesgos ambientales generados por el sector de alimentos figuran, la contaminación del agua, la contaminación atmosférica, la contaminación del suelo por residuos sólidos o vertimientos, afectación a flora, fauna y el agotamiento del recurso hídrico. Ahora bien, teniendo en cuenta los argumentos expuestos anteriormente, la ganadería es el sector en el que se encuentra enfocado este trabajo, ya que es de interés y es uno de los procesos de explotación que más presentan afectaciones al medio ambiente “está directamente relacionado con la transformación negativa del paisaje rural y el quebrantamiento de ecosistemas sostenibles, representados por la disminución de la productividad de los suelos, la eliminación de especies nativas y la erosión” (Gallo Aponte & Sanabria Rodelo, 2019).

Esta investigación, se enfocará en analizar cada una de las etapas de explotación lechera, con el fin proponer mejoras a través de estrategias de PML que permitan disminuir los impactos ambientales negativos generados sobre el medio ambiente por esta industria, ya que la leche y sus derivados son uno

de los alimentos de mayor consumo. Tal como lo muestra la composición de la canasta para el segundo trimestre de 2022, la leche representó el mayor consumo de los hogares colombianos (46,6 %), seguido por las otras categorías: leches (21,7 %), queso (19,7 %) y derivados lácteos (12 %) (Infobae, 2022).

Como estrategia principal, se plantea la implementación de sistemas de alimentación eléctrica basado en energías renovables, para reemplazar el uso de combustibles derivados del petróleo, debido a que estas fuentes de energía contribuyen a disminuir la generación de GEI. Tal como lo menciona la (Organización de las Naciones Unidas, s.f) “Son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse”. Otra estrategia que se tendrá presente para disminuir el impacto ambiental generado por la producción de leche, es la aplicación de la ganadería regenerativa, cuyo objetivo es promover la rehabilitación de suelos y pastos degradados, además de prevenir el proceso de degradación de estos sistemas, incrementando la disponibilidad, calidad, diversidad y persistencia de biomasa de plantas, sin dejar de proteger y tener un uso racionado de los recursos hídricos y aumentar la productividad animal por hectárea (Moncada, 2022) .

Por lo tanto, esta investigación permitirá identificar los impactos ambientales que se generan en cada una de las etapas del proceso de la explotación de leche y conocer alternativas que otras empresas o fincas han implementado para disminuir los impactos de esta industria, como lo son ambientales y económicos., demostrando la importancia que tiene la implementación de estrategias de PML en este proceso de explotación.

CAPITULO I

1 Planteamiento del problema

1.1 Problemática

La ganadería es uno de los sectores que más contribuyen a la generación de emisiones de GEI hacia la atmósfera. Según (Perdomo, 2022), la ganadería es responsable del 49,2% de las emisiones de GEI en el país. Además, según datos de la FAO en América Latina, la cadena láctea es la responsable del 15% de emisiones de dióxido de carbono CO₂ de la región. De otra parte, se conoce que entre el 75 % Y 80% de la superficie agrícola mundial se destina a producir alimentos para animales, lo que supone casi el 30% de la superficie total terrestre es ocupada por la ganadería (Greenpeace, 2019).

Otro efecto adverso importante es el generado naturalmente por los bovinos, ya que, por cada 7.000 litros de leche, una vaca puede llegar a emitir hasta 140 kilos de metano (CH₄) al año (Universidad Nacional autónoma de México, 2021), y como se conoce bien, este es otro de los GEI perjudiciales para el medio ambiente. Por otra parte, la ganadería en varias etapas de su proceso genera una gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂), puesto que la maquinaria y los medios de transporte empleados en el proceso de producción funcionan a base de combustibles derivados del petróleo. Como lo menciona la (Organización de las Naciones Unidas, 2006) “El sector ganadero es una fuente significativa de gases de efecto invernadero (GEI), representando alrededor de un 18% en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂)”.

En términos generales, “En Colombia, el sector ganadero representa el 14,7% de las emisiones totales del país” (Gómez Palencia et al., 2021), es decir, alrededor de una séptima parte de las contribuciones de las emisiones totales. Este tipo de contribuciones, además de fomentar los efectos del cambio climático, generan afectaciones severas en el entorno circundante, ya que de acuerdo con las cifras dadas por la (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2020) el 40 % del área departamental en promedio se encuentra dedicada al pastoreo, de los cuales Boyacá cuenta con un 50% del área en pastoreo, por lo que la degradación de la vegetación, la erosión de suelos, el deterioro de fertilidad y estructura son

especialmente notorios en el medio. De la misma forma, la ganadería está asociada como la segunda causa de la deforestación en el país, ya que se estima que más del 60% de la deforestación se encuentra asociada a la ganadería extensiva y la praderización (cambio de cobertura de bosques por pastos) (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2020).

Por lo tanto, la producción de leche es uno de los procesos de la ganadería responsable de todos aquellos impactos ambientales adversos para el medio ambiente. Por esta razón, es fundamental poder reconocer, analizar y desarrollar estrategias de PML que aporten o contribuyan con la disminución de GEI y con la sobreexplotación de las praderas.

1.2 Pregunta problema

¿Qué estrategias de PML proponer para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso de la explotación lechera en una finca de la vereda de Sirigay ubicada en San Miguel de Sema Boyacá?

CAPÍTULO II

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar las etapas del proceso de explotación lechera en una finca ubicada en la vereda Sirigay en San Miguel de Sema Boyacá, con la finalidad de proponer estrategias PML que contribuyan a la disminución del impacto ambiental.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del proceso de la explotación lechera en una finca ubicada en San Miguel de Sema Boyacá vereda Sirigay para identificar las etapas que están relacionadas con la generación de emisiones de GEI.
- Proponer un diseño de un sistema fotovoltaico-eólico, para evaluar las ventajas y desventajas frente a los sistemas actualmente utilizados, los cuales hacen uso de energías no renovables como fuentes de energía.
- Evaluar la viabilidad financiera y económica para la implementación de estrategias de PML en la finca ubicada en San Miguel de Sema Boyacá vereda Sirigay en el proceso de explotación lechera en ganado vacuno.

CAPÍTULO III

3 Justificación

Actualmente, el sector lechero en Colombia constituye uno de los sectores productivos con mayor importancia para la economía del país, ya que este participa con el 12% del PIB agropecuario y genera el 20% de los empleos agropecuarios; la producción de leche se presenta principalmente en los departamentos de Antioquía, Boyacá y Cundinamarca. Según (FEDEGAN Fondo Nacional del Ganado, 2022) La producción de leche en Colombia presentó un incremento del 5,8%, al pasar de 7.395 millones de litros en 2020, a 7.821 millones de litros producidos en 2021. Sin embargo, a pesar de los beneficios que genera la ganadería lechera, es una industria que ocasiona impactos ambientales significativos clasificándose en tres áreas: Residuos sólidos (asociados básicamente en el material de empaque o recipientes dañados o caducados), desechos líquidos (aguas de limpieza, lavado de maquinaria, pérdidas de materia prima y productos terminados y principalmente suero uno de los subproductos de la producción) y emisión de gases (Relacionadas con los gases de combustión en la generación de vapor para actividades varias y eventuales fugas de refrigerante) (De La Cruz, Porta, & Buser, 2003). Sin embargo, a pesar de los beneficios que genera la ganadería lechera, esta es una industria que ocasiona impactos ambientales significativos para el medio ambiente desde las siguientes áreas: Residuos sólidos (asociados básicamente en el material de empaque o recipientes dañados o caducados), desechos líquidos (aguas de limpieza, lavado de maquinaria, pérdidas de materia prima y productos terminados y principalmente suero uno de los subproductos de la producción) y emisión de gases (Relacionadas con los gases de combustión en la generación de vapor para actividades varias y eventuales fugas de refrigerante) (De La Cruz, Porta, & Buser, 2003).

De acuerdo con lo anterior, el propósito de esta investigación es identificar las problemáticas generadas en cada una de las etapas del proceso de explotación lechera en una finca de la vereda de Sirigay en San Miguel de Sema Boyacá, planteando como estrategias de PML la ganadería regenerativa y la

implementación de energías renovables las cuales ayudan a disminuir los impactos ambientales ocasionados por la industria láctea. Por lo que es fundamental, implementar estrategias PML que brinden diferentes beneficios ambientales, sociales y económicos. Algunos de estos son los siguientes: Contribuir al ahorro de energía, a la reducción de costos de operación, ahorro de materia prima, promover la mejora continua de las condiciones laborales, eliminación de materia prima nociva, además de la reducción y el manejo adecuado de residuos, fortalecer el cumplimiento de normativas lo que puede permitir el acceso a mercados ambientalmente amigables y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Samayoa, 2019).

CAPITULO IV

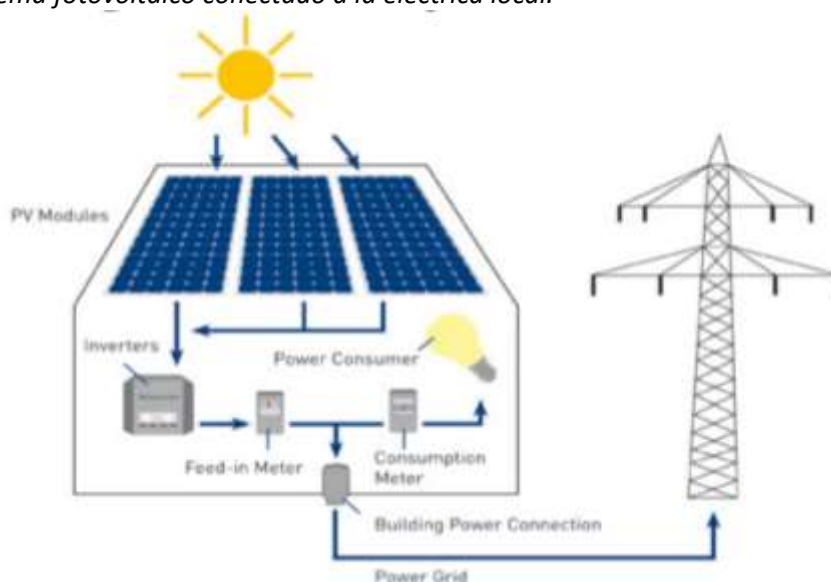
4 Antecedentes

4.1 Energía Solar fotovoltaica:

A continuación, se muestra un antecedente exitoso donde se explora la aplicación de energía solar fotovoltaica al proceso de ordeño, mediante la instalación de un sistema conectado a una máquina ordeñadora semi-automática. En este trabajo, los autores diseñaron un sistema de alimentación eléctrico no-autónomo, compuesto por 66 módulos de paneles solares fotovoltaicos de silicio policristalino de doble vidrio. Estos paneles fueron interconectados a la red eléctrica local y tuvieron una capacidad total de generación de energía de 22,240 kW/día, proporcionando evidencia satisfactoria de la viabilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos en esta industria. La relación costo beneficio neto este tipo de sistemas fue de 4.85, en un rango de 30 años (Narváez Vanegas & Aguilar García, 2018).

Figura 1

Esquema del sistema fotovoltaico conectado a la eléctrica local.



Nota. Imagen reproducida de Diagrama de sistema fotovoltaico interconectado, de (Narváez Vanegas & Aguilar García, 2018).

(https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3227/Aguilar_Garc%C3%ADa_Cesar_Augusto_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

4.2 Energía eólica

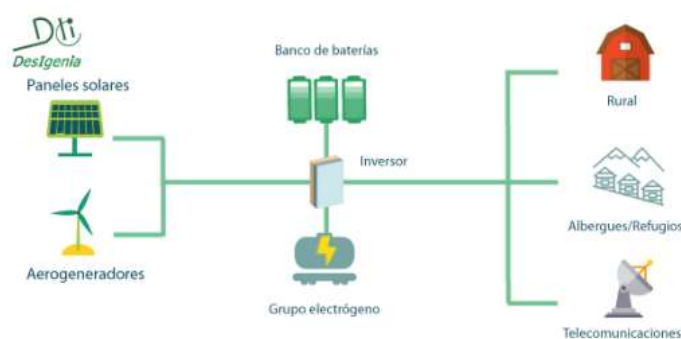
En cuanto a la energía eólica, la industria lechera cuenta con diversas propuestas para la implementación en los procesos de producción de leche, puesto que se conocen antecedentes de lecherías que optaron por el manejo de energías renovables para mitigar el impacto ambiental generado por este proceso de explotación. Entre los cuales, se reconoce casos de la implementación de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía solar y por medio de biodigestores que aprovechan los subproductos y los excrementos de las vacas. Sin embargo, la implementación de la energía eólica no es común en esta industria por motivos geográficos y económicos; en el país existe la posibilidad de contar con las corrientes de aire necesarias para generar energía solamente en el departamento de la Guajira en zonas desérticas dónde sería complicado la manutención de las cabezas de ganado vacuno, ya que se adaptan mejor en clima frío donde las pasturas ofrecen mejores condiciones de producción (Narváez Vanegas & Aguilar García, 2018).

4.3 Energía híbrida:

Otro tipo de fuente de energía, es la energía solar híbrida, es decir, la combinación entre la fuente de energía solar de un sistema fotovoltaico con otra tipo de fuente de energía, en este caso con la energía eólica. Esta última suele ser intermitente, pero se puede complementar bastante bien con la solar gracias a la tendencia regular de esta radiación en muchos sectores geográficos del país. De acuerdo a lo anterior, la investigación de (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018), consistió en enmarcar la importancia del uso de las energías renovables en la actualidad, con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente y al desarrollo de nuevas tecnologías en un ámbito tan importante para el país como lo es la ganadería. Llegando a concluir, que el uso de sistemas fotovoltaicos en la finca La Chorrera, permite la alimentación eléctrica de maquinaria de ordeño especializada y genera un aumento de producción mucho mayor al

que podría tenerse manualmente, además de permitir la disminución de costos en cuanto a energías y combustibles. Por otro lado, se muestra que el uso de energía solar fotovoltaica de manera híbrida permite que el productor tenga un 171% de retorno de su inversión durante los 6 años de implementación de éste (teniendo en cuenta el tiempo de producción de una vaca) antes de necesitar una nueva inyección de capital para el cambio de ganado. Por lo tanto, se considera que es muy factible el uso de estas energías, dado que en el caso de continuar con el proceso tradicional el productor sólo está teniendo un 26% de retorno de su inversión (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018).

Figura 2
Sistema de energía Híbrida



Nota. Reproducida de Sistema de energía híbrida de (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018),
(<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/be4fe9f7-9b9f-479c-a398-d6cce29434ef/content>)

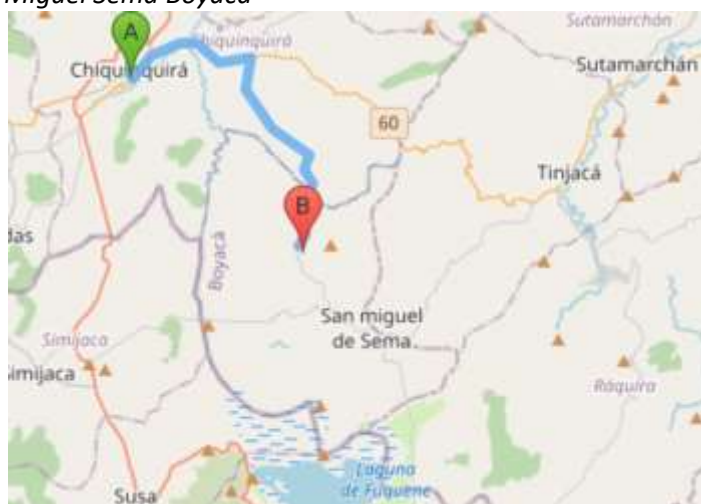
CAPÍTULO V

5 Marco teórico

5.1 Descripción del territorio

La finca donde se realizó este estudio se encuentra ubicada en San Miguel de Sema vereda Sirigay. Este es un municipio colombiano ubicado en el occidente del departamento de Boyacá, con aproximadamente 4.028 habitantes. Fue fundado en 1915 y reconocido como un municipio en 1960, y en 1925 era corregimiento del Municipio de Chiquinquirá, conformado por las veredas hato viejo, Sirigay, Quintoque y Peñablanca. La principal fuente de ingresos del municipio es la ganadería lechera, especialmente ganado Holstein, su producción es tan importante que hoy día algunas de las empresas productoras de derivados lácteos, ha instalado centros de acopio. Existen aún zonas del municipio donde el principal renglón sigue siendo la agricultura principalmente papa y maíz (Ministerio de Cultura y Deporte – Gobierno de España, s.f).

Figura 3
Ubicación San Miguel Sema Boyacá



Nota: Reproducida *Cómo ir de Chiquinquirá a San Miguel De Sema* de (LasDistancias.net, s.f)

(<http://co.lasdistancias.net/ruta-como-ir-de-chiquinquira-a-san-miguel-de-sema>)

Es importante resaltar, que la ganadería lechera en Boyacá, produce aproximadamente 1.289.000 litros diarios de leche, mostrando la importancia que tiene este departamento en este sector productivo (Gobernación de Boyacá, s.f) .

5.2 Industria láctea y aspectos importantes

La industria láctea brinda un gran beneficio económico al país (Ortega García, 2007), ya que la leche es uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial, principalmente la leche de vaca en donde se produce un 62,2% en Europa y Asia. Además de ello, se cuenta con 1.300 hectáreas de la superficie de la tierra, un 77% de la frontera agropecuaria son sistemas destinados al pastoreo de animales domésticos con predominio de los bovinos. Ahora bien, la producción de leche en Colombia la representan 403.465 pequeños productores y 82.070 medianos los cuales aportan el 82% del total de la producción. Asimismo, es un sector el cual genera en promedio total del 2% de empleo y 4% de producción industrial. En general, la ganadería de leche aporta el 3,18% de empleo a nivel nacional equivalente al 13,92% del empleo en el sector agropecuario, lo cual hace del sector lechero un elemento básico para el mejoramiento de la calidad de vida del sector rural.

Adicionalmente, se habla de la ganadería bovina haciendo referencia “a la crianza y domesticación del toro y la vaca, de donde deriva la producción de alimentos para consumo humano y otros artículos” (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015). La importancia de conocer esto, es por ser una fuente principal de la producción de leche puesto que son estos animales los que la generan y por lo tanto todo empieza desde su alimentación.

Asimismo, el pastoreo es el sistema que se usa para que el ganado se alimente de la mejor manera (Del grecco, 2020), por lo tanto, el mantenimiento y control de las pasturas son de gran importancia, una alta producción de forraje de alta calidad durante el mayor período de tiempo, permite mantener un balance

favorable entre las especies forrajeras (gramíneas y leguminosas), y obtener una eficiente utilización de forraje producido, logrando una producción ganadera rentable.

Ahora bien, el proceso productivo el cual hace referencia específicamente a la utilización de recursos operacionales que permiten transformar la materia prima en un resultado deseado, que bien pudiera ser un producto terminado (Rodríguez et al., 2002). Es decir, el proceso productivo hace énfasis en los pasos a seguir para producir determinado producto y que este además cumpla con las necesidades de los consumidores.

Por lo anterior, el proceso productivo de la leche (De La Cruz, Porta, & Buser, 2003) consta de los siguientes pasos:

1. Obtención de la leche por medio del ordeño de las vacas.
2. La leche cruda obtenida debe ser transportada al área de refrigeración hacia las plantas procesadoras.
3. En la recepción de leche cruda se controla la calidad de la materia prima y se asegura que ésta reúne las características de calidad necesarias. Además, puede ser controlada desde las haciendas lecheras en términos de acidez, temperatura y contenido de azúcares(reductasa).
4. En caso contrario, de no estar dentro de los estándares de calidad la leche cruda es rechazada. Se debe observar cuidadosamente las operaciones de transporte, recepción y manejo para prevenir oportunamente las pérdidas y fugas de leche.
5. Se controla en cantidad por medio de mediciones de volumen o peso.
6. Se almacena en tanques contenedores refrigerados para ser procesada posteriormente.
7. La producción de leche envasada comienza con las operaciones de recepción y control de calidad.

8. Luego esta leche cruda es sometida a una operación de clarificación por centrifugación, para ajustar el contenido de grasa a un valor de 3% aproximadamente (La grasa separada constituye la materia prima para la elaboración de crema)
9. Después, la leche clarificada se enfría a una temperatura de 2-4 °C y se almacena temporalmente, antes de la pasteurización.
10. El pasteurizado de la leche se lleva a cabo a 70-75 °C durante 15 a 30 segundos
11. La homogenización, se realiza a 1000 psi y a una temperatura de 3 a 5 °C.
12. La leche pasteurizada o homogenizada es almacenada en frío (5 °C),
13. Para ser posteriormente envasada en recipientes plásticos o de cartón.
14. Finalmente, las empresas distribuidoras de lácteos, en cooperación con las plantas procesadoras, hacen llegar estos productos a los consumidores finales, donde el transporte de la leche cruda sea en condiciones de refrigeración apropiadas, que inhiban la actividad enzimática.

5.3 Conceptos sobre PML y soluciones renovables

Para conocer un poco de lo que trata el proyecto de investigación es fundamental tener claro algunos conceptos sobre estrategias de PML y las diferentes soluciones que son una opción de implementar en el proceso lechero por lo tanto se habla inicialmente de lo que es el desarrollo sostenible donde la Agenda 21, lo define como “El proceso capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (Madroñero Palacios & Guzmán Hernández, 2018). Es decir, la idea de este término es poder satisfacer las necesidades actuales de los seres humanos, pero sin afectar los recursos y el planeta de las generaciones futuras, por lo que es fundamental cuidar de estos. Para cuidar de ellos es fundamental que las empresas implementen estrategias de mejora en los procesos y que aporten al cuidado de los recursos naturales.

De acuerdo a lo anterior, la transición energética tiene estrecha relación, ya que esta tiene como finalidad incrementar e impulsar el uso actual de energías limpias y renovables como principal fuente de energía

en los diferentes sectores productivos, esto llevando a realizar los procesos productivos de una manera eficaz, eficiente, innovadora y sustentable. En conclusión, es un concepto fundamental ya que este lleva a que se reconozca el cambio que se tiene para pasar de energías convencionales a energías renovables “mostrando un cambio ordenado y programado de la generación de electricidad para migrar de fuentes convencionales hacia Energías Limpias con sustentabilidad” (SENER Secretaria de Energía, 2021). En Colombia la transición energética tiene como fin, promover la producción de gas natural y la generación de electricidad como fuentes más limpias. En este caso, la mayor parte de la energía que se consume actualmente procede del petróleo, del carbón y, cada vez más, del gas natural; hidrocarburos que suministran electricidad, calor y frío a hogares, lugares de trabajo y abastecen los sistemas de transporte (Shell, s.f).

De esta manera, las estrategias de PML les permiten a las empresas dedicadas a la producción, a considerar la transformación y mejoramiento del sistema actual de producción a sistemas que den respuesta a principios de sostenibilidad proponiendo estrategias en los cambios de patrones de producción y consumo (Monroy Ávila, Peña Monroy, & Garzón Cortés, 2019), permitiendo que las empresas tengan reducción de reprocesos, materiales, costos e impactos ambientales.

De acuerdo a lo anterior, las estrategias de PML en la ganadería son el objetivo de interés principal de la presente investigación. A continuación, se encuentran algunas de las estrategias PML para tener en cuenta:

- **La ganadería regenerativa:**

La ganadería regenerativa plantea mitigar o disminuir todos los impactos generados por la producción de leche, por lo cual esta es definida como un “sistema de producción agroforestal articulado con las dinámicas de la naturaleza que mediante prácticas de manejo incrementan la productividad y reduce los costos de producción, promoviendo un mayor retorno sobre la inversión...” (Díaz Pulido, Chiquito García, & Rúa Franco, 2020). Así mismo, esta contribuye a la mejora la calidad de vida para los productores y sus

trabajadores, permitiendo obtener alimentos saludables y limpios para los consumidores. También, Mejora la productividad de la explotación, y al mismo tiempo permite la restauración de ecosistemas, a través de la rehabilitación y conservación de suelos. Igualmente, ofrece alimentación diversa en cualquier época del año, con control biológico natural, favoreciendo la oferta biológica del suelo, la captura de carbono y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. (Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Senepol y sus cruces- Asosenepol, 2021)

Algunos temas básicos de la ganadería regenerativa son los siguientes:

- ✓ **Pastoreo no selectivo:** Se obtiene con cargas instantáneas altas para períodos cortos de tiempo (Pastoreo Ultra Alta Densidad), los animales cambian de hábito de pastoreo, al pasar de un pastoreo selectivo a un pastoreo voraz, con competencia, debido a la poca área por animal ofrecida para él.
- ✓ **Sincronía producción/clima:** La temperatura es uno de los parámetros climáticos que mayor influencia ejerce sobre la fisiología de las plantas; la caracterización fenológica de progenitores con base en unidades calor, permite definir con exactitud la fecha de siembra para lograr sincronía floral en la formación de híbridos.
- ✓ **Suplementación estratégica:** Es una metodología que permite la eficiente utilización de recursos disponibles, tanto de la dieta base como del suplemento, contribuyendo substancialmente al mejoramiento de los parámetros productivos y reproductivos de los rebaños en que es utilizada.

Los beneficios de implementar la ganadería regenerativa como una estrategia de PML son (Díaz et. Al, 2020):

1. No uso de productos como fertilizantes, insecticidas, pesticidas, herbicidas y otras sustancias contaminantes y perjudiciales para el ambiente y para la salud humana.
2. Conservación de la infraestructura natural.

3. Generación de microclimas que reflejan las dinámicas evolutivas del bosque y la pradera, reconociendo prácticas de pastoreo y ciclos de descanso que permiten la regeneración a través de la sucesión natural y las relaciones favorables suelo-planta-animal-humano.
4. Mantenimiento de coberturas vegetales y humedad relativa que potencializa la fotosíntesis en las plantas para cerrar el ciclo del carbono.
5. Mejoramiento de la salud y la fertilidad del suelo con el incremento del contenido de materia orgánica, así como la capacidad de infiltrar y retener agua, y de reciclar y almacenar nutrientes y carbono, previniendo su erosión y revirtiendo su desertificación.

- **Biodigestor de estiércol:**

Un biodigestor de estiércol permite disminuir los desechos que genera el ganado y a cambio aporta al cuidado del medio ambiente. Este “es un contenedor sellado herméticamente al que entra estiércol, desperdicios de comida, rastrojos de siembra y materia orgánica, en general. Dentro del mismo, ocurre un proceso de biodigestión anaerobio”. Además, esta es una estrategia de producción más limpia que permite transformar los desechos en biofertilizante y biogás que son usados para tareas como cocción, calefacción y electrificación evitando la contaminación del suelo y del agua por la deposición inadecuada de las excretas.

Los biodigestores más adecuados para la producción de leche para microempresa son los biodigestores modulares donde se destacan los biodigestores “de bolsa” que es un sistema de flujo continuo en el que los desechos orgánicos ingresan por un extremo de la bolsa (reactor), la recorren en un tiempo de retención hidráulica determinado, y salen tratados como fertilizante orgánico por otro extremo, produciendo biogás en el recorrido (Ecotec, s.f).

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos:**

Como se ha descrito en uno de los objetivos específicos, se propone diseñar un sistema fotovoltaico - eólico para alimentar un motor eléctrico de ordeño, por esta razón es fundamental conocer lo que es un

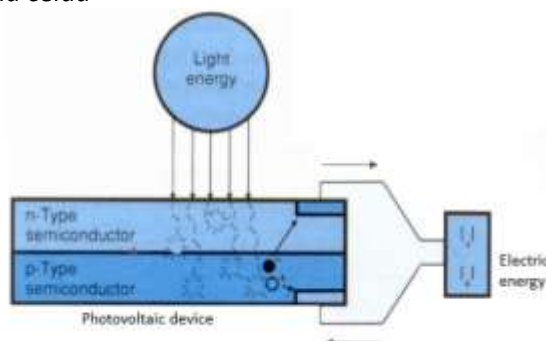
sistema fotovoltaico autónomo, el cual tiene como finalidad “la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua, la radiación del sol es captada por unos dispositivos semiconductores llamados celdas fotovoltaicas, que tienen la propiedad de asimilar corriente eléctrica” (Villafuerte Alccalaico, 2019). Por lo tanto, la energía fotovoltaica hace parte de las energías renovables y además es un recurso limpio y sostenible.

Teniendo en cuenta lo que es el sistema fotovoltaico autónomo es importante reconocer los componentes que lo conforman siendo los siguientes:

1. **Paneles solares:** Son módulos fotovoltaicos que captan la energía electromagnética radiada por el sol, convirtiéndola en electricidad. Este está compuesto por células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) durante las horas del día (Celsia, 2018). Esta unidad básica está compuesta por al menos dos capas de material semiconductor, usualmente silicio, dopado con aditivos especiales. Una capa aloja cargas eléctricas positivas y las otras cargas negativas. La luz que incide en la superficie del dispositivo genera un campo eléctrico a través de las capas, y por tanto la aparición de una corriente eléctrica. La intensidad de la luz incidente determina la cantidad de electricidad generada por cada una de las celdas fotovoltaicas.

Figura 4

Esquema de funcionamiento de una celda



Nota: Esquema de funcionamiento de una celda fotovoltaica. La energía electromagnética proveniente del sol genera una corriente eléctrica al excitar las capas semiconductoras que constituyen la celda fotovoltaica.

Ahora bien, existen dos tipos de paneles solares:

Policristalinos: Su fabricación se realiza fundiendo bloques de silicio en bruto y vertiéndolos en un molde cuadrado, obteniendo células que tienen un menor rendimiento porque poseen impurezas. Esto se refleja también en su apariencia: los paneles policristalinos son más claros y tienen tonos azulados.

Figura 5

Panel policristalino



Nota: Reproducida de Paneles Solares Policristalinos de (Bessel, s.f)

(<https://www.bessel.com.ar/paneles-solares-policristalinos/>)

Monocristalinos: Este tipo de paneles se fabrican con un material de mayor pureza. Para ello se usan bloques o lingotes de silicio que se recortan para obtener láminas con bordes redondeados. Estos cristales tienen una pureza elevada, lo que provoca que cada celda tenga un rendimiento muy alto con respecto a los paneles policristalinos.

Figura 6*Panel Monocristalino*

Nota: Reproducida de Panel Solar 345W Monocristalino Powest de (Ineldec Ingeniería Eléctrica, s.f)

(<https://ineldec.com/producto/panel-solar-345w-powest-mono/>)

2. **Inversores:** Es un convertidor de corriente que se encarga de transformar la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). Los inversores para sistemas PV - aislados, generalmente operan a 12, 24, 48 o 110 voltios DC y generan 110 o 208 voltios AC a 60 Hz. Algunas de las características (Urquijo, A; 2023) son:

Eficiencia de conversión de potencia: este valor proporciona la tasa de la potencia de salida con la potencia de entrada del inversor. Inversores modernos tienen eficiencias pico de 92%-94%.

Voltaje de entrada: Este es determinado por la potencia total requerida por las cargas AC y el voltaje de algunas cargas DC.

Corriente de espera: Esta es la cantidad de corriente usada por el inversor cuando ninguna carga está activa (pérdida de potencia). Este es un parámetro importante si el inversor será dejado por largos periodos de tiempo para suministrar cargas pequeñas. La eficiencia del inversor es más baja cuando la demanda de carga es baja.

Detalle de los parámetros anteriores:

Tabla 2

Detalle de los parámetros de determinación de la carga

Parámetros	Valores	Descripción						
A1 Eficiencia del inversor	0.85 - 0.9	Se emplea como factor de ajuste de la potencia cuando la corriente cambia de DC a AC						
A2 Voltaje del bus de baterías	12 V, 24 V o 48 V	Voltaje DC de entrada requerido para el inversor. <table><tr><td>12 V</td><td>(0 kWh, 1 kWh)</td></tr><tr><td>24 V</td><td>(1 kWh, 4 kWh)</td></tr><tr><td>48 V</td><td>(4 kWh,)</td></tr></table>	12 V	(0 kWh, 1 kWh)	24 V	(1 kWh, 4 kWh)	48 V	(4 kWh,)
12 V	(0 kWh, 1 kWh)							
24 V	(1 kWh, 4 kWh)							
48 V	(4 kWh,)							
A3 Voltaje AC del inversor	120 V (60 Hz)	Tabla 2. Voltaje de salida del inversor						
A4 Potencia nominal	Watts	Potencia dada por el fabricante para cada dispositivo que se desea conectar al sistema de alimentación						
A5 Factor de ajuste	DC → 1.0 AC → 0.85	Relacionado con la eficiencia del inversor, el cual varía entre 0.85 y 0.9. Para cargas DC, operando directamente desde el banco de baterías el factor es 1.0.						
A6 Potencia ajustada	$\frac{A4}{A5}$	Compensación de potencia debida a la ineficiencia del inversor. Además, proporciona la potencia consumida por el banco de baterías.						
A7 Horas por día de uso	horas	Número de horas de uso de cada dispositivo						
A8 Energía por día	$A6 \times A7$	Cantidad de energía que requiere cada dispositivo						
A9 Demanda de energía total por día	$\sum A8$	Demanda de energía total requerida por los dispositivos por día.						
A10 Demanda diaria de Amperios por hora	$\frac{A9}{A2}$							
A11 Requerimiento de potencia AC máxima	$\sum A4$	Máxima potencia de salida AC requerida del inversor, si todas las cargas estuvieran operando al mismo tiempo.						
A12 Requerimiento de potencia DC máxima	$\sum A6$	Potencia máxima de entrada requerida por el inversor y es necesario determinar tamaño de cables y fusibles.						

- **Tamaño de las baterías:**

La cantidad de baterías para el sistema fotovoltaico aislado se calculan de tal forma que pueda almacenar la energía producida por el arreglo PV, para su posterior uso por las cargas conectadas al sistema. La cantidad total de baterías depende de los siguientes parámetros:

- i. Días de almacenamiento deseados para cumplir con el requerimiento de consumo sin necesidad de recarga.
- ii. Profundidad máxima de descarga.
- iii. Tasas de descarga y temperatura.
- iv. Eficiencia y pérdida del sistema.
- v. El voltaje del sistema define el número de baterías conectadas en serie.
- vi. La capacidad total requerida define el número de baterías conectadas en paralelo.

Tabla 3*Parámetros para la determinación del tamaño de las baterías*

	Parámetros	Valores	Descripción
B1	Autonomía (días de almacenamiento requerido)	días	Tiempo de uso de la energía almacenada por las baterías sin recarga.
B2	Límite de profundidad de descarga	0.8	Fracción máxima de capacidad de energía que se puede retirar de la batería.
B3	Capacidad requerida de la batería (Ah)	$\frac{A10 \times B1}{B2}$	Total de amperios hora por día (A10) por el número de días de almacenamiento, dividido entre el límite de profundidad de descarga.
B4	Capacidad de amperios-hora de la batería seleccionada.	Ah	Seleccionar usando la información suministrada por el fabricante.
B5	Número de baterías en paralelo	$\frac{B3}{B4}$	La conexión en paralelo de las baterías aumenta la corriente total que puede suministrar el banco.
B6	Número de baterías en serie	$\frac{A2}{V_{bat.selec.}}$	Número de baterías conectadas en serie para suplir la demanda de voltaje requerida. División entre el voltaje del bus de baterías y el voltaje de la batería seleccionada.
B7	Número total de baterías	$B5 \times B6$	Multiplicación del número de baterías conectadas en serie, con el número de baterías conectadas en paralelo.
B8	Capacidad total de amperios-hora suministrado por las baterías	$B5 \times B4$	Número de baterías conectadas en serie por la cantidad de amperios-hora suministrada por la batería elgida.

- **Tamaño del arreglo PV:**

El tamaño del arreglo fotovoltaico se determina a través de los siguientes parámetros:

- i. Carga promedio diaria.
- ii. Radiación solar del lugar.
- iii. Pérdidas del sistema.
- iv. Características propias de los módulos PV.
- v. El voltaje del sistema determina el número de módulos conectados en serie requeridos por el circuito fuente.
- vi. Los requerimientos de potencia y energía del sistema determinan el número total de circuitos fuente conectados en paralelo.

Tabla 4

Parámetros para la determinación tamaño del arreglo PV

	Parámetros	Valores	Descripción
C1	Demanda de energía total por día (Wh)	A9	Demanda total de energía por día en Vatios por hora.
C2	Eficiencia de ida y vuelta de la batería	[0.7 – 0.85]	Fracción de electricidad almacenada por la batería que después se recupera.
C3	Requerimiento de salida del arreglo por día (Wh)	$\frac{C1}{C2}$	Ajuste de la cantidad de Vatios por hora de salida del sistema debido a que las baterías no son completamente eficientes.
C4	Voltaje máximo del PV seleccionado en condiciones STC (condiciones de prueba estándar).	$V_{max} \times 0.85$	El voltaje máximo del módulo seleccionado es proporcionado por el fabricante, y su valor es multiplicado por 0.85 para establecer un voltaje de operación para cada módulo.
C5	Módulo PV seleccionado para garantizar la salida de potencia (STC) (W)	W	Valor registrado en el manual del fabricante.
C6	Horas pico del sol en el mes de diseño.	horas	Horas pico del sol en inclinación óptima.
C7	Energía de salida de cada módulo por hora (Wh)	$C5 \times C6$	Cantidad de energía producida por el arreglo PV cada día.
C8	Energía de salida del módulo a temperatura de operación (Wh)	$DF \times C7$	Energía promedio de salida de un módulo. DF es el factor de reducción.
C9	Número de módulos requeridos para alcanzar los requerimientos de energía	$\frac{C3}{C8}$	Cociente de la energía requerida por día entre la energía de salida de cada módulo.
C10	Número de módulos necesarios por cadena	$\frac{A2}{C4}$	Cociente del voltaje del bus de baterías entre el voltaje de operación del diseño.
C11	Número de cadenas en paralelo	$\frac{C9}{C10}$	División del número de módulos requeridos para alcanzar los requerimientos de energía, entre el número de módulos por cadena
C12	Número de módulos a comprar	$C10 \times C11$	
C13	Salida nominal de potencia del módulo PV (W)		Hoja de especificaciones del fabricante
C14	Salida nominal de potencia del arreglo PV (W)	$C12 \times C13$	Potencia nominal entregada por el arreglo PV.

- **Selección del inversor:** El inversor se requiere en este tipo de diseños, para la conversión de corriente directa en corriente alterna. Típicamente, los inversores deben tener los mismos valores nominales de voltaje de las baterías. Además, la potencia nominal de entrada del inversor jamás deberá ser más baja que la potencia de los aparatos.

$$\text{Capacidad}_{inv} \geq A12$$

- **Controlador de carga:** El controlador de carga tiene como función, regular la carga que va hacia el banco de baterías desde el arreglo de paneles solares y prevenir sobrecargas y flujos de corriente en dirección contraria en la noche, mientras no hay producción de electricidad. La corriente de entrada al controlador se calcula como:

$$I_R = (N_{\text{paralelo}} \times I_{SC}) \times 1.25$$

- **Tamaño de cable:** Debido al flujo no uniforme de corriente en el sistema, es necesario establecer el calibre del cable a emplear. Revisaremos las siguientes conexiones:

- Cable entre los módulos PV y las baterías.
- Cable entre el banco de baterías y el inversor.
- Cable entre el inversor y la carga.

Para determinar el área de la sección transversal del cable de cobre se emplea la siguiente relación matemática:

$$A = \frac{\rho \times L \times I \times 2}{V_d}$$

donde,

ρ es la resistividad del cable ($\rho_{cu} = 1.724 \times 10^{-8} \Omega m$), L es la longitud del alambre (m), A es el área de la sección transversal (m^2), I es la corriente nominal del regulador (A) y V_d es la caída de voltaje (V) entre dos puntos en el circuito.

En ambos casos, corriente alterna y directa, se considera que la caída de voltaje no supera el 4%:

$$V_d = \frac{4}{100} V$$

Y el voltaje V es típicamente:

- Cable entre los módulos PV y las baterías: 12V, 24V o 48V
- Cable entre el banco de baterías y el inversor: 12V, 24V o 48V
- Cable entre el inversor y la carga: 110V

Luego de conocer las determinaciones de las estrategias de PML es fundamental identificar la cantidad de emisiones generadas, por lo que algunas de las herramientas de medición del impacto ambiental ocasionado por la ganadería son:

- Una metodología que propone la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f), es el Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería (GLEAM). Este es

un sistema de información geográfica (SIG) que simula las actividades y procesos bio-físicos de las cadenas de suministro de la ganadería siguiendo la metodología de análisis de ciclo de vida. Además, tiene como objetivo cuantificar la producción ganadera y el uso de recursos naturales del sector, así como identificar los impactos ambientales de la ganadería, a fin de contribuir para la evaluación de escenarios de mitigación para el desarrollo de un sector ganadero más sostenible.

Algunas de sus características son:

1. Cobertura sistemática y global de seis especies ganaderas y sus productos comestibles: carne y leche de vacuno, búfalo, ovino y caprino; carne de cerdo, y carne y huevos de pollería.
 2. Modelización geográficamente explícita de datos climáticos, dietas animales, distribución ganadera permite analizar los condicionantes locales de la producción, los impactos ambientales y las posibilidades de intervención.
 3. Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero de cada etapa de producción. El modelo abarca las emisiones de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O).
 4. Uso de metodología de Nivel 2 para el cálculo de las emisiones de origen animal (fermentación entérica y gestión del estiércol) permite obtener información detallada sobre cómo la dieta y la gestión del estiércol pueden contribuir para la mitigación de GEI (Gases de efecto invernadero).
- Por otra parte, otra forma de calcular el impacto ambiental que genera la producción lechera es calculando la huella de carbono el cual es el dato de actividad * Factor de emisión de la actividad (Ministerio para la transición ecológica, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, se toma el consumo de energía o combustible que tienen la maquinaria, esto para poder identificar cuanto genera esta industria de emisiones de dióxido de carbono en las diferentes fases del proceso de producción.

CAPITULO VI

6 Metodología

Este proyecto se desarrolló en un periodo de tiempo de 6 meses, (junio a diciembre 2022), teniendo en cuenta 4 fases (evaluación de las etapas del proceso lechero, diagnóstico inicial, diseño del sistema fotovoltaico y la evaluación financiera) importantes enfocadas en los objetivos de investigación y con base en un enfoque metodológico de tipo mixto (metodología cuantitativa y cualitativa).

Este enfoque permitió recolectar y analizar datos cuantitativos y cualitativos para determinar los resultados y cumplir con los objetivos planteados (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Por lo anterior, se usó técnicas cuantitativas de recolección de información, relacionando consumo de combustible, energía, cantidad de vacas, costo, entre otros datos, con su respectivo análisis para dar respuesta a la pregunta de investigación y calculando principalmente la cantidad de emisiones de GEI (huella de carbono CO₂ y metano CH₄) que genera un modelo de explotación lechera común o promedio en Colombia. Además, se utilizaron técnicas cualitativas, haciendo recolección de información por medio de una encuesta realizada a 20 personas de la población campesina dedicada a esta actividad. La información recolectada brindo datos significativos acerca del conocimiento de la comunidad sobre sistemas de energía fotovoltaica y transición energética. Así mismo, se recopilaron datos de documentos e investigaciones realizadas sobre el tema, análisis de los conceptos sobre la ganadería, y comparaciones de las energías convencionales con renovables. Por lo tanto, este enfoque empleado se utilizó para realizar la caracterización del sistema de mejora de los procesos formulando estrategias de PML, para promover este modelo de ganadería sostenible. Asimismo, teniendo en cuenta información ya publicada en la literatura se propusieron cálculos para implementar el sistema fotovoltaico.

En conclusión, se determinaron cuáles fueron los parámetros para evaluar en las etapas del proceso de explotación lechera, esto con el fin de proponer las mejores alternativas de estrategias de PML. Para ello,

se desarrolló la caracterización de los parámetros a evaluar que se identificaron de las etapas del proceso de producción de leche, siendo los siguientes:

- **Maquinaria:** La maquinaria dentro del proceso es uno de los parámetros que mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generan, ya que para su funcionamiento se utiliza combustible (gasolina) o energía eléctrica los cuales son uno de los elementos que genera mayor cantidad de dióxido de carbono CO₂
- **Pastoreo:** El pastoreo es otro parámetro de gran importancia ya que el realizar esta actividad origina un gran porcentaje de deforestación, tala de árboles y un uso inadecuado del suelo.
- **Transporte y distribución:** El transporte y distribución de la leche de la fábrica a su punto de venta se desarrolla haciendo uso de combustible ya que se transporta en una camioneta o camiones de recolección.
- **Generación de metano:** La generación de metano CH₄ el cual depende de la cantidad de vacas localizadas en la finca.

El cálculo de emisiones de CO₂ se realizó mediante la siguiente fórmula propuesta por el Ministerio para la transición ecológica:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de actividad} * \text{Factor de emisión de la actividad}$$

Por otra parte, para las emisiones de CH₄ de acuerdo con la (Universidad Nacional autónoma de México, 2021) dice que una vaca productora de leche genera promedio al día 370 gramos de metano. Por lo tanto, esta información permite calcular las emisiones GEI y huella de carbono en las diferentes fases del proceso de producción.

CAPITULO VII

7 Resultados

A través de la encuesta realizada a la comunidad campesina dedicada a la explotación lechera, se ha obtenido información detallada sobre las prácticas actuales de ordeño y el tipo de energía utilizada en estos procesos. Esto permitió tener una comprensión más clara de las necesidades y oportunidades para la implementación de soluciones sostenibles. Además, se ha evaluado el nivel de interés y compromiso de los campesinos en adoptar sistemas de ordeño que incorporen tecnologías. Los resultados de esta encuesta son fundamentales para el diseño de estrategias efectivas de PML; esta información permitirá desarrollar propuestas adaptadas a las necesidades y expectativas de la comunidad, promoviendo una transición hacia prácticas más sostenibles en el sector lechero.

En primer lugar, se preguntó a la población su ubicación geográfica. Los resultados indicaron que 9 personas son de San Miguel de Sema Boyacá, 2 de Tunja, 5 de Bogotá, 2 de Soacha y 2 de San José del Guaviare.

Posteriormente, se indagó acerca del tipo de ordeño utilizado por los campesinos, con el fin de identificar cuál es el más común. De acuerdo con las respuestas, 12 personas afirmaron realizar el ordeño de forma manual, 6 a través de métodos de combustión, 2 mediante sistemas eléctricos y ninguno con sistemas fotovoltaicos.

Figura 7

Tipo de ordeño

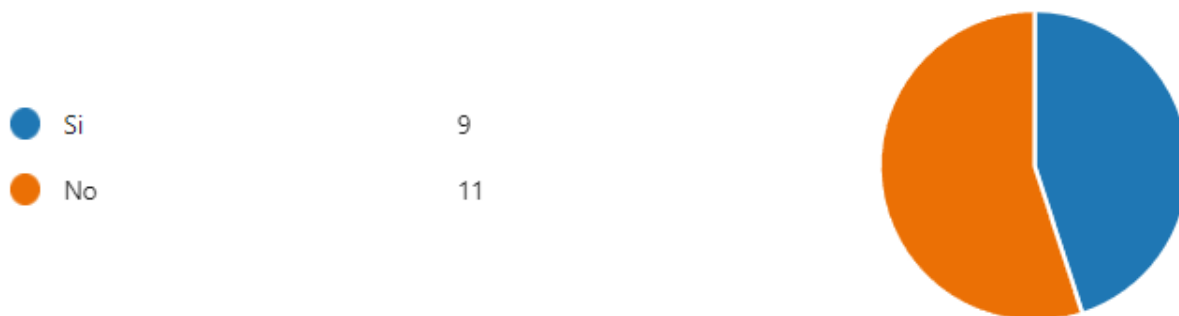
● Manual	12
● A combustión	6
● Electrico	2
● Sistema fotovoltaicos	0



Es importante destacar que la población campesina tiene cierto desconocimiento sobre las energías no renovables, muchos de ellos aún no tienen una comprensión clara al respecto. En concreto, 8 personas manifestaron desconocer la información, 5 reconocieron que las energías no renovables generan contaminación y emiten gases que contribuyen al calentamiento global y 7 las confunden con las energías renovables, mencionando que estas últimas son fuentes de energía limitadas que se encuentran en la naturaleza.

Dado que el proyecto, tuvo como objetivo el diseño de un sistema de ordeño fotovoltaico, resulta fundamental determinar si la población campesina está familiarizada con este tipo de tecnología. De las respuestas obtenidas, 9 campesinos afirmaron tener conocimiento sobre la energía fotovoltaica, mientras que 11 manifestaron desconocerla. Ante esta situación, resultaría esencial brindarles una explicación sobre sus beneficios, de modo que puedan comprender el valor que aporta. Además, las 20 personas encuestadas expresaron su interés en implementar la energía fotovoltaica, ya que todos coincidieron en que esta contribuiría al cuidado del medio ambiente al reducir las GEI y al mismo tiempo, disminuiría los costos de producción.

Figura 8
Conocimiento sobre energía fotovoltaica



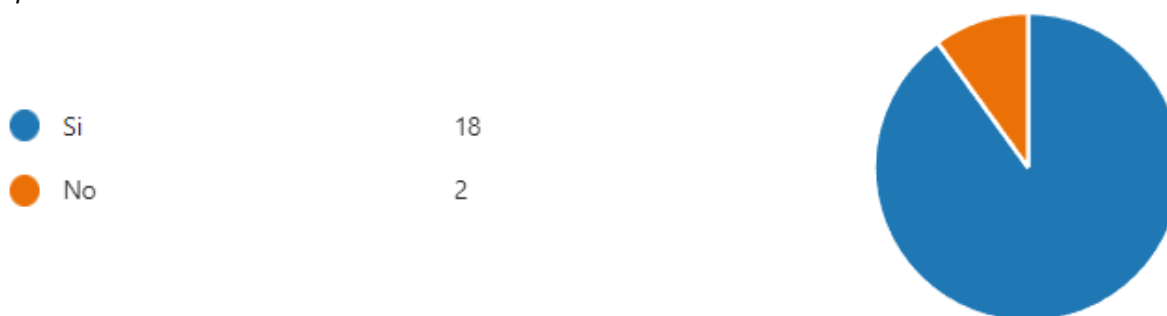
Igualmente, se consultó si la población estaba familiarizada con el concepto de transición energética; En respuesta a esta pregunta, 11 personas afirmaron conocer el término y coincidieron en que se trata de un proceso de cambio hacia el uso de energías diferentes. Por otro lado, 9 personas admitieron no estar

familiarizadas con el concepto. Esto se complementa con la siguiente pregunta, que indagó si habían escuchado hablar de otros tipos de energías renovables. En este caso, 13 personas afirmaron no conocer otras formas de energías renovables, mientras que 7 mencionaron la energía solar, la eólica o ambas.

Por último, la pregunta de mayor impacto para esta investigación fue si los campesinos estarían dispuestos a invertir en sistemas de ordeño con energías renovables. En respuesta a esta pregunta, 18 personas expresaron su acuerdo y disposición para invertir en estas y 2 expresaron no estar interesados; Este resultado dando como señal de que la propuesta de este proyecto es viable debido al interés de la mayoría de las personas encuestadas, que estarían dispuestas a utilizar estos tipos de sistemas de ordeño.

Figura 9

Disposición de invertir en sistemas renovables de ordeño



A continuación, se ve reflejado el diagnóstico inicial con los diferentes costos a los que corresponde cada parámetro evaluado:

Tabla 5

Diagnóstico inicial

DIAGNOSTICO ETAPAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE		
PARAMETROS	EMISIONES	COSTOS
1.Extracción de leche		
Motor de ordeño	De acuerdo al motor de ordeño, es un motor de 6,5 HP – 4,8 KW el cual consume 360 g / KW / h de combustible y este se encuentra encendido dos veces al día con un tiempo de 45 min cada uno para un total 90 min	De acuerdo con el Infobae (2022) El valor del galón de la gasolina en Colombia en el año 2022 en promedio es de: \$9.800. Ahora bien, mensualmente en promedio en dinero se está gastando \$160.000

	Huella de carbono = (Unidades de combustible utilizadas) * (Factor de emisión del combustible (en este caso gasolina) Sin embargo, antes de calcular las emisiones de CO₂ se realiza la conversión de los 360 g / KW / h a Kg que es la unidad de medida más conveniente Por lo tanto, $360 \left(\frac{g}{kw} \right) \left(\frac{1 Kg}{1000 g} \right) = 0,36 Kg/h$ 0,36 kg/kw/h Ahora, para calcular el valor del consumo de los 90 min se realiza la siguiente regla de 3: $x = \frac{90 \cdot 0,36}{60} = 0,54 \frac{Kg}{hora y media}$ 0,54 kg Entonces la: Gasolina mensual: (0,54 Kg/90min) * (30 días) = 16,20 kg/mes Gasolina 6 meses: (16,20 kg/ mes) *(6 meses) = 97,20 Kg/ 6 meses Factor de emisión de la gasolina: 69,30 kg CO₂ eq/TJ Huella de carbono 6 meses: (97,20 Kg / KW / h) *(69,30 Kg CO₂ eq/TJ) = 6735,96 Kg CO₂ eq/TJ	Entonces el valor del precio en los seis meses es de: \$160.000*6 meses = \$960.000
Bomba eléctrica	Para realizar el cálculo de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en este caso de dióxido de carbono CO₂ que genera la bomba de agua, es importante conocer la cantidad de energía que consume	Ahora bien, en cuanto los costos se calcula el promedio del precio de los seis meses del recibo de la energía en donde se suma lo que son los totales en precio de los Kw/h consumidos

	por ello se calcula el promedio del consumo a lo largo de 6 meses: Energía promedio consumida diariamente: 23,84 kw/h Energía promedio consumida mensualmente: 715,25 kw/h Energía consumida promedio en los 6 meses: 4291,47 kw/h Para reconocer la cantidad de emisiones de CO₂ se calcula por medio de la huella de carbono Huella de carbono= Promedio del consumo de la energía* el factor de emisión de Colombia Factor de emisión de la energía: 0,126 t CO₂ eq/MWh Huella de carbono 6 meses = (4291,47 Kw/h)*(0,126 t CO₂ eq/MWh)= 540,73 t CO₂ eq/MWh	dando un valor de \$1.068.334 en los 6 meses.
Metano	Para calcular las emisiones de metano se deben tener en cuenta la cantidad de vacas productoras con las que cuenta la finca siendo un total de 18 vacas. Ahora bien, de acuerdo (Universidad Nacional autónoma de México, 2021) una vaca productora de leche genera al día un promedio de 370 gramos de metano. Por lo tanto, Cantidad de vacas en la finca: 18 Emisión de CH₄ por vaca productora: 370 g	No aplica

	Emisiones en gramos de CH₄ diario: (18 vacas) * (370 gramos al día) = 6.660 g de CH₄ al día Emisiones en g de CH₄ mensual tomando el mes con 30 días: (6.660 g de CH₄ al día) *(30 Días) = 199.800 g de CH₄ mensual Emisiones en g de CH₄ en 6 meses: (199.800 g de CH₄ mensual) *(6 meses) = 1.198.800g CH₄	
3.Transporte- Frío		
Tanque de enfriamiento de la leche	Para conocer el consumo de energía del tanque al igual que la bomba se tomó el promedio de consumo de los 6 meses: Energía promedio consumida diariamente: 24,10 kw/h Energía promedio consumida mensualmente: 723,0819kw/h Energía promedio consumida 6 meses: 4338,4914 kw/h Para saber la cantidad de emisiones de CO₂ se calcula por medio de la huella de carbono Huella de carbono= Promedio del consumo de la energía* el factor de emisión de Colombia Factor de emisión de la energía: 0,126 t CO₂ eq/MWh Huella de carbono 6 meses: (4338,4914 kw/h) *(0.126 t CO₂ eq/MWh) = 546.65 t CO₂ eq/MWh	El promedio del costo de la energía consumida es de \$1.080.039

Camioneta (Medio de transportar la leche)	Para conocer el promedio de consumo de combustible de la camioneta mensualmente se tiene presente el precio total dividido en lo que vale un galón, por lo tanto: Galones mensuales: $\\$300000/\\$9.800 = 30,6122449$ galones mensuales Ahora bien, para las emisiones de gases de efecto invernadero es importante convertir los galones a Kg debido a que su factor de emisión está en esa unidad de medida: Por lo tanto, $30,61 \text{ Galones} \times \frac{3.7854 \text{ kg}}{1 \text{ Galón}} = 115,87 \text{ kg}$ Consumo mensual: $115,87 \text{ galones} / 30 \text{ días} = 3,86 \text{ kg}$ Consumo diario: 115,87 kg Consumo 6 meses: $(115,87) * 6 = 695,22 \text{ kg}$ Huella de carbono = (Unidades de combustible utilizadas) * (Factor de emisión del combustible) Huella de carbono 6 meses: $(695,22\text{kg}) * (69,30 \text{ kg CO}_2/\text{TJ}) = 48178,75 \text{ (kg CO}_2/\text{TJ)}$	De acuerdo con el Infobae (2022) El valor del galón de la gasolina en Colombia en el año 2022 en promedio fue de: \$9.800. Donde por mes se consume \$300.000 por lo que en 6 meses \$1.800.000
---	--	--

Más allá de la generación de GEI, otro de los parámetros es el pastoreo, ya que este es el método como se alimentan las vacas, parámetro que es evaluado debido al deterioro del suelo. Por lo tanto, para la implementación de la estrategia de PML es fundamental conocer la cantidad de terreno con la que se cuenta para determinar cuál es la mejor manera de rotar el ganado y evitar este deterioro del suelo. Los

datos son los siguientes: Hay 7 fanegas de terreno en las cuales se distribuyen las vacas cada cierto tiempo. Por lo que más adelante se conocerá con más detenimiento como se propone la estrategia.

Luego de realizar la tabla anterior se llega a la siguiente conclusión:

Tabla 6

Conclusión de los datos arrojados del diagnóstico

PARAMETROS A EVALUAR	CONSUMO DIARIO	CONSUMO MENSUAL	CONSUMO DE 6 MESES	FACTOR DE EMISIÓN (Kg CO ₂ eq/TJ)	HUELLA DE CARBONO (Kg CO ₂ eq)	COSTO 6 MESES	IMAGEN
Motor de ordeño	0,54 kg/hora y media	16,20	97,20	69,30	6735,96	\$960.000	
Camioneta (Medio de transportar la leche)	3,86 kg	115,87	695,22	69,30	48178,75	\$1.800.000	
PARAMETROS A EVALUAR	CONSUMO DIARIO	CONSUMO MENSUAL	CONSUMO DE 6 MESES (kw/h)	FACTOR DE EMISIÓN (tCO ₂ eq/MWh)	HUELLA DE CARBONO (t CO ₂ eq/MWh)	COSTO 6 MESES	IMAGEN
Bomba eléctrica	23,84	715,25	4291,47	0,126	540,73	\$1.068.334	
Tanque de enfriamiento	24,10	723,08	4338,49	0,126	546,65	\$1.080.039	

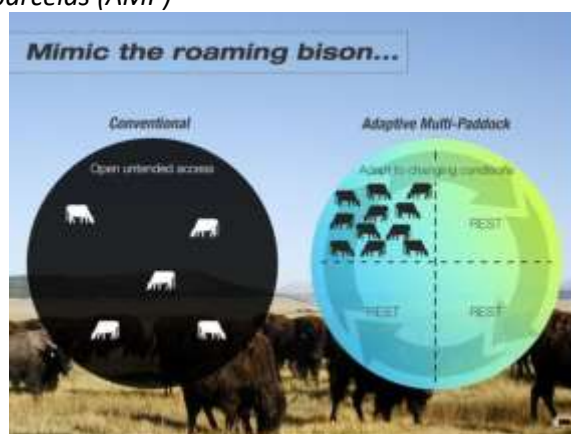
PARAMETROS A EVALUAR	# VACAS	EMISIÓN (g CH ₄)	CONSUMO DIARIO (g CH ₄)	CONSUMO MENSUAL (g CH ₄)	CONSUMO DE 6 MESES (g CH ₄)	COSTO 6 MESES	IMAGEN
Metano	18	370	6.660	199.800	1.198.800	NO APLICA	

Tras el diagnóstico inicial, se buscó cumplir con el objetivo de proponer estrategias de PML que optimicen el proceso de explotación lechera y reduzcan el impacto ambiental en la finca de la vereda Sirigay en San Miguel de Sema, Boyacá. Para ello, se llevó a cabo una investigación enfocada en estrategias de PML que mitiguen la generación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), así como en una estrategia para reducir la deforestación y el uso inadecuado del suelo. Teniendo en cuenta estas afectaciones se plantea lo que son las energías renovables como parte de la estrategia de PML para mitigar la generación de dióxido de carbono CO₂, en este caso teniendo en consideración lo que son la energía originada a través del viento y la luz solar. Allí se contó con el ejemplo de una investigación donde se realizó un diseño de la implementación de energía con un sistema fotovoltaico (Muñoz, Ponce Benites, Calderón Ñaccha, & Teran Sotelo, 2016), donde se usó una ordeñadora pequeña que funciona para 10 vacas. La comparación mostró que el tiempo dedicado al ordeño de una vaca mediante el sistema propuesto frente al ordeño convencional, fue de 7 min frente a los 20 min utilizados en el proceso tradicional. Por lo tanto, este sistema fotovoltaico contribuyó en el crecimiento y desarrollo del sector de los pequeños ganaderos, mejorando la calidad de vida y el desarrollo tecnológico de ellos. De la misma manera, el uso de estas ordeñadoras permite desde un inicio tener un desarrollo sostenible al no ser contaminante. Logrando conseguir una reducción de costo en la construcción de la ordeñadora de aproximadamente de 1000 soles. De acuerdo con lo anterior, el sistema fotovoltaico fue el siguiente:

fomentando así un crecimiento rápido del pasto. Ahora bien, si el ganado pasta intensa pero brevemente en pequeños terrenos en orden secuencial, consumiendo no más del 50% del volumen total de hojas, las etapas de descanso aumentan y el crecimiento del pasto se vuelve más eficaz. Por esta razón, se desplaza de la producción de pastos para la ganadería, a la producción de suelos y su uso adecuado, lo que permitirá pastos más abundantes, un ganado más sano, llevando a tener un mayor crecimiento vegetativo, teniendo pastos de mayor calidad y, por tanto, se tendrá más y una mejor carne y leche producida rápidamente.

Figura 11

Pastoreo adaptativo multi-parcelas (AMP)



Nota. Reproducida de *El futuro depende de nuestra capacidad de adaptación: Pastoreo adaptativo en Multi-paddock*. (LIFE Montado-Adapt, 2020) (<https://lifemontadoadapt.com/?n=470>)

En conclusión, para implementar el pastoreo regenerativo es importante tener presente la cantidad de terreno con la que se cuenta, la cantidad de vacas, periodo de descanso y el periodo de ocupación ya que esto es lo que ayudará a determinar cómo es la mejor manera de ubicar el ganado en el terreno que se tiene. En este caso se tiene 7 fanegadas para 18 vacas en donde estas actualmente están siendo distribuidas 3 vacas por fanegada quedando una fanegada libre para la rotación, sin embargo, este no está siendo el mejor método para cuidar el suelo. Por lo tanto, se plantea inicialmente conocer cuantas vacas caben en una hectárea donde se dice que para una hectárea se pueden ubicar 1.8 vacas (FEDEGAN Fondo Nacional de Ganaderos, 2015).

De acuerdo a lo anterior, la idea es dividir el terreno de tal manera que las 18 vacas ocupen uno de los terrenos y los demás se encuentren en zona de descanso. Para ello, se debe pasar de fanegadas a hectáreas en donde 7 fanegadas equivalen a 4,501 hectáreas. Llegando a lo siguiente:

En este caso se calcula la cantidad de hectáreas que son necesarias para abastecer a las 18 vacas productoras con las que se cuentan llegando a que para las 18 vacas se necesitan solo 10 hectáreas de las 4,501 hectáreas que se tienen en la finca.

$$\frac{18 \text{ vacas}}{1,8 \text{ vacas}} = 10 \text{ hectáreas}$$

Ahora bien, también se requiere conocer cuantas vacas ocupan la cantidad de hectáreas que se tienen en la finca en donde se necesitan de 8.1 vacas, sin embargo, es una cantidad de vacas considerable por lo que estas hectáreas que se tienen en la finca se deben dividir en pequeños terrenos para que estos sean usados de manera secuencial.

$$4,5 \text{ hectáreas} * 1,8 = 8,1 \text{ vacas}$$

Por lo que se considera un periodo de ocupación aproximadamente de 2 a 3 días, un periodo de descanso de 30 días (días que pueden aumentar ya que lo ideal es que las etapas de descanso del terreno aumenten). Sin embargo, como se ve reflejado es un terreno pequeño para la cantidad de vacas con las que se cuentan, por lo que al pasar el tiempo es recomendable disminuir la cantidad de ganado o aumentar la cantidad de terreno de manera adecuada con el fin de que se ocupe el espacio cumpliendo siempre con lo que propone la ganadería regenerativa.

Este método propuesto permitirá que el ganado padezca intensamente pero brevemente en pequeños terrenos en orden secuencial, consumiendo no más del 50% del volumen total de hojas, generando que el crecimiento del pasto se vuelva más eficaz, más abundante, y que adicionalmente permita tener un ganado más sano, llevando a tener un mayor crecimiento vegetativo, y, por tanto, una mejor carne y leche producida rápidamente. Por esta razón, se desplaza de la producción de pastos para la ganadería, a la producción de suelos y su uso adecuado.

Luego de realizar la investigación sobre las propuestas de estrategias de PML consideradas para mitigar el impacto ambiental generado por la ganadería lechera, se desarrolló el diseño del sistema fotovoltaico para la máquina de ordeño para ello tomando como base algunos de los diseños existentes y teniendo en cuenta los cálculos pertinentes para la implementación de los paneles solares dentro del sistema.

Diseño del sistema fotovoltaico

En esta sección se presentan los cálculos matemáticos necesarios para dimensionar el sistema fotovoltaico requerido en la alimentación del prototipo de sistema de ordeño. Todo esto teniendo en cuenta los componentes principales enunciados en el marco teórico.

El dispositivo que se requiere alimentar es un motor eléctrico de 1 hp (caballo de fuerza). que se encuentra conectado directamente a una bomba de vacío de 400 L. A continuación, se muestran algunos detalles de los dispositivos elegidos para el diseño junto con la simbología empleada para el desarrollo de los cálculos matemáticos.

Detalles de la carga conectada al sistema de alimentación:

Tabla 7

Detalles del sistema de alimentación

Tipo	Motor eléctrico
Potencia (P_i)	736 W
Horas de uso diario (h)	1 h

Tabla 8

Detalles del panel solar

Modelo	LR5-72HPH525
Eficiencia máxima	21.5%
Peso	27.2 kg
Potencia máxima (P_{max})	525 W
Corriente máxima (I_{max})	12.75 A
Voltaje máximo (V_{max})	41.20 V
Corriente de cortocircuito (I_{SC})	13.65 A

Radiación solar del lugar: 5.09 PSH

Tabla 9*Especificación de las baterías*

Modelo	Exide 6E95-11
Límite de profundidad de descarga (D)	0.8
Días de carga requeridos (A)	7 días
Voltaje de la batería (V_b)	12 V
Capacidad (C_b)	478 Ah
Voltaje del sistema (V_{BB})	24 V
Eficiencia de ida y vuelta de la batería (ε)	0.85

Tabla 10*Detalles del inversor*

Voltaje de entrada del inversor	24 V DC
Voltaje de salida del inversor	110 V AC
Eficiencia (λ)	85%

Con base en las especificaciones de los dispositivos, aplicamos el siguiente procedimiento:

Cálculo del tamaño de la carga

En este sistema el único dispositivo eléctrico que se conectará es el motor de 1 hp, cuyo consumo teórico de potencia es de aproximadamente $P_i = 736$ W. Con esta información, se calcula la demanda de energía diaria, como:

$$P_{\text{dia}} = h \left(\sum_{i=1}^N \frac{P_i}{\lambda} \right).$$

Donde, h es el número de horas a suplir la demanda energética, λ la eficiencia del inversor y P_i el conjunto de cargas eléctricas que se conectan al sistema de alimentación.

En este caso, usando los parámetros definidos anteriormente, se tiene que:

$$P_{\text{dia}} = 1h \cdot \left(\frac{736 \text{ W}}{0.85} \right) \approx 866 \text{ Wh}.$$

Con esta información, se calcula la demanda diaria de corriente, esto es:

$$I_{\text{dia}} = \frac{P_{\text{dia}}}{V_{BB}}$$

$$I_{\text{dia}} = \frac{866 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} \approx 37 \text{ Ah}.$$

Este resultado indica que el sistema fotovoltaico necesita suministrar 37 amperios x hora, para suplir la demanda energética diaria.

Dimensionamiento del banco de baterías

Para almacenar la electricidad producida por el arreglo de paneles solares, se emplean un conjunto de baterías conectadas entre sí, de dos maneras. En serie para cumplir con los requisitos de voltaje del sistema, y en paralelo para suplir la corriente necesaria para activar las cargas conectadas al sistema.

Número de baterías conectadas en serie: Las baterías conectadas en serie, se calculan a partir de la siguiente relación matemática:

$$N_{\text{bat-serie}} = \frac{V_{BB}}{V_b}.$$

Es decir, el cociente entre el voltaje del bus de baterías (V_{BB}) y el voltaje de cada batería (V_b). Para la elección del prototipo, esta cantidad será:

$$N_{\text{bat-serie}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2.$$

Este resultado es claro, ya que para alcanzar el voltaje del sistema (24 V) es necesario duplicar la salida de tensión de una batería de 12 V, conectando otra de estas en serie.

Número de baterías conectadas en paralelo: la elección del número de baterías conectadas en serie dependerá explícitamente del requerimiento de corriente al sistema. Esta cantidad se calcula usando la siguiente expresión:

$$N_{\text{bat-paralelo}} = \frac{I_{\text{dia}} \times A}{D \times C_b},$$

Donde, A es la autonomía del sistema (días de funcionamiento del sistema sin presencia de radiación solar), D es el límite de profundidad de descarga de la batería, y C_b su capacidad de almacenamiento.

Para este sistema, se tiene que:

$$N_{\text{bat-paralelo}} = \frac{37 \text{ Ah} \times 7}{0.8 \times 478 \text{ Ah}} \approx 1.$$

Este resultado es coherente, debido a la gran capacidad de almacenamiento que poseen el modelo e las baterías elegidas. Con este resultado, es claro que el número total de baterías necesarias para el sistema es $N_{bat} = N_{bat-serie} \times N_{bat-paralelo} = 2$.

Dimensionamiento del arreglo de paneles solares

En esta sección se calcula el número de paneles solares requeridos para alimentar de manera eficiente el motor eléctrico. De la misma forma que para las baterías, los paneles solares se deben conectar en serie y paralelo para satisfacer los requerimientos de voltaje y corriente del sistema.

Número de paneles solares conectados en serie: Esta cantidad se calcula como el cociente entre el voltaje DC del sistema y el voltaje máximo ajustado que entrega el módulo solar. Es decir:

$$N_{panel-serie} = \frac{V_{BB}}{V_{max} \times 0.85}$$

$$N_{panel-serie} = \frac{24 \text{ V}}{41.20 \text{ V} \times 0.8} \approx 1$$

Número de paneles solares conectados en paralelo: Está determinado por la corriente de salida necesaria para alimentar el sistema. Su cálculo se obtiene a partir de la expresión:

$$N_{panel-paralelo} = \frac{P_{dia} \times V_{max} \times 0.85}{\varepsilon \times DF \times P_{max} \times PSH \times V_{BB}} .$$

Donde PSH es el número de horas solar pico del lugar donde el dispositivo estará expuesto a la radiación electromagnética, y DF es el factor de reducción (0.9) o factor de pérdida de los paneles solares debido a las condiciones reales del sistema. En este sistema, tenemos que:

$$N_{panel-paralelo} = \frac{878 \text{ Wh} \times 41.20 \text{ V} \times 0.85}{0.85 \times 0.9 \times 525 \text{ W} \times 5.09 \text{ h} \times 24 \text{ V}} \approx 1 .$$

Por lo tanto, el número de paneles a emplear es $N_{panel} = N_{panel-serie} \times N_{panel-paralelo} = 1$.

Controlador de carga

Como última fase del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es necesario conocer los requerimientos eléctricos del controlador de carga de las baterías. La primera característica importante a

considerar es la corriente mínima de entrada al controlador, es decir, la corriente del arreglo fotovoltaico.

Esta se calcula como:

$$I_{PV} = I_{SC} \times N_{\text{panel-paralelo}} \times SF$$

Donde $SF = 1.25$ es el factor de seguridad. Realizando este cálculo se obtiene que:

$$I_{PV} = 13.65 \text{ A} \times 1 \times 1.25 \approx 18 \text{ A}$$

Por otro lado, la corriente mínima de salida del controlador se puede hallar, como:

$$I_{DC\text{-max}} = \frac{P_i}{\lambda \times V_{BB}}$$

Esta relación representa el cociente entre la potencia ajustada del motor eléctrico y el voltaje del bus de baterías. Para nuestro sistema, esta corriente es

$$I_{DC\text{-max}} = \frac{736 \text{ W}}{0.85 \times 24 \text{ V}} \approx 37 \text{ A}$$

Estos resultados indican que el controlador de carga de las baterías debe ser elegido de tal manera que su corriente de entrada sea de al menos 18 A y 37 A de salida.

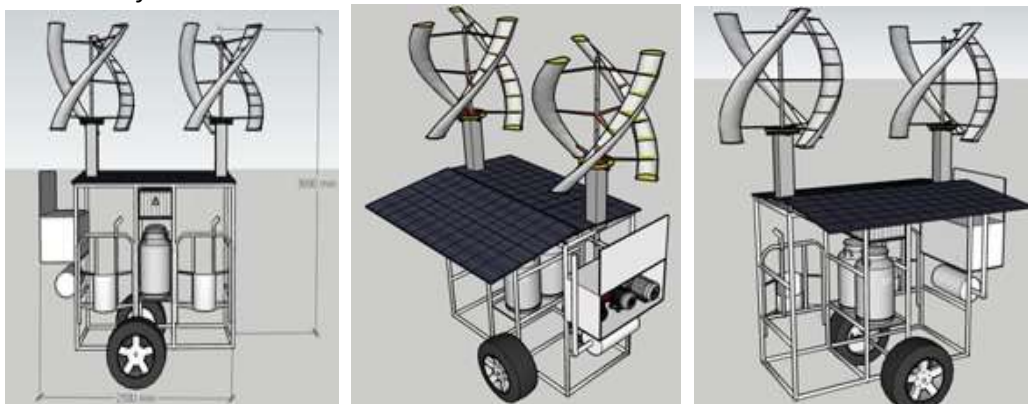
Teniendo en cuenta los cálculos anteriores se concluye lo siguiente:

Tabla 11

Detalles del sistema

Detalles del sistema	
Tamaño de la carga	37 Ah
Cantidad de Baterías en serie	2
Cantidad de Baterías en paralelo	1
Cantidad de paneles en serie	1
Cantidad de paneles en paralelo	1
Controlador de carga	37 A

De acuerdo a lo anterior, el diseño del sistema fotovoltaico es el siguiente:

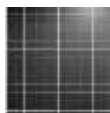
Figura 12*Diseño del sistema fotovoltaico*

Nota: Sistema fotovoltaico diseñado en sketchup Vista frontal establo de ordeño, Vista periférica establo de ordeño con generadores eólicos y Vista periférica establo de ordeño con generadores eólicos. Elaboración propia.

Finalmente, se evalúa la viabilidad financiera y económica del proyecto para la explotación lechera en ganado vacuno en la finca ubicada en la vereda Sirigay en San Miguel de Sema Boyacá. Por lo anterior, se verán reflejados los costos del proyecto haciendo referencia al estudio de costos que “Es el proceso de estimar, presupuestar y controlar los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, con el objetivo de mantener los gastos dentro del presupuesto aprobado” (Hexagons Asset Lifecycle Intelligence Division, s.f), esto con el propósito de poder identificar el presupuesto con el que se debe contar para la implementación de las estrategias de PML propuestas en la etapa anterior.

Teniendo en cuenta esto, se realiza una investigación de los diferentes proveedores que cuenta con los insumos para la elaboración del sistema fotovoltaico de la máquina de ordeño para de esta manera realizar una comparación entre los precios de consumo que se están manejando actualmente con la inversión del sistema. El estudio de costos es el siguiente:

Tabla 12
Estudio de costos

Materiales/Costos de Proveedores	Nombre-referencia	Detalle	INELDEC Ingeniería Eléctrica		Solartex Energía para Colombia	
			costo	Imagen	Costo	Imagen
1 panel solar	LR5-72HPH-545M	Panel Solar 545W Monoperc Longi	\$1.100.000		\$999.000	
			Suministros del Sol		Almacén Fotovoltaico	
			257,81 € \$1.267.005		239,50 € \$1.177.020	
2 baterías	Exide 6E95-11	Mejor Baterías			ebay	
		Detalle	costo	Imagen	Detalle	Costo Imagen
		Exide U1R-11 Batería Moto 12V 30Ah Plomo Abierto	114,91 € \$564.844		12v 140ah exide batería de ocio (porta power 140) (er650) ideal para camping salvaje-	\$1.069 231.05 
		Ebay			ebay	
		110SE Exide EB802 batería de coche de alta resistencia - tipo 110 - 80Ah 12V 700A	\$472 681.28		BATERÍA EXIDE GEL ES450 12V 40AH	217,18 € \$1.063.965 
1 controlador de carga		Autosolar				
		Detalle	costo	Imagen	Detalle	costo Imagen
		Controlador Carga MPPT 20A ML2420 12/24V SRNE	\$403.411		Controlador Carga MPPT 30A 12/24V MUST	\$560.000 
		Mercado Libre				
		Regulador Solar Controlador Pwm 40	\$108.000		Regulador Para Planta Solar	\$ 54.000 

		Amperios Puerto Usb			12/24v 20 Amperios		
1 inversor	Inversor de 24 V DC a 110 V AC	Solartex Energía para Colombia					
		Detalle	costo	Imagen	Detalle	costo	Imagen
		Inversor 3000 watts onda pura 110 V 24V PS	\$1.584.000		Inversor 1000 watts onda pura 110 V 24V PS	\$674.000	
		Amazon					
		ETREPOW Inversor de corriente de onda sinusoidal pura de 2000 W, 24 V a 110 V 120 V con pantalla LCD	229,98 US \$1.018.132,96		Inversor de potencia 1500W con salida Toma dual. Entrada 12V o 24V y Salida 110V 60Hz con salida DC5V 2000mA (12V)	69,99 US \$309.849,23	

La tabla muestra que en total se necesita una inversión entre \$1.836.530 (sumatorio de los elementos de menor costo) a \$4.480.236 (sumatoria de los elementos de mayor costo), esto para poder realizar el diseño fotovoltaico.

CAPITULO VIII

8 Discusión

En respuesta a la creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente, se han tomado medidas y se han propuesto ideas para mitigar el impacto ambiental. En este contexto, este proyecto se centró en las estrategias de PML aplicables a la ganadería lechera, con especial énfasis en el motor de ordeño como principal fuente de producción. Se analiza la comparación entre el consumo de energía mediante combustibles y el potencial de ahorro al implementar un motor de ordeño alimentado por energía solar. Estas estrategias buscan contribuir a la reducción del impacto ambiental en la industria ganadera y promover la adopción de prácticas más sostenibles.

En este punto es fundamental tener presente que este tipo de sistema cuenta con una inversión inicial alta, sin embargo, a mediano y largo plazo este brindará menores costos del consumo de combustible y lo más importante la disminución de gases de dióxido de carbono.

Recapitulando actualmente se está consumiendo en dinero un aproximado de \$960.000 en combustible a lo largo de un periodo de 6 meses y mensualmente de \$160.000. Ahora bien, al suponer que en la inversión para la implementación del sistema fotovoltaico sea de \$4.480.236 se debe calcular en que tiempo esta es cero y empiezan a verse reflejado la disminución de los costos. Para ello, se debe conocer en cuantos días, meses o años se empiezan a tener ganancia para ello se realiza el siguiente calculo:

$$\$960.000 = 6 \text{ meses}$$

$$\$4.480.236 = x$$

Entonces:

$$\frac{4.480.236 \times 6 \text{ meses}}{960.000} = 28,001 \text{ meses}$$

Al realizar el cálculo a los 28 meses de haber implementado el sistema fotovoltaico se llega a recuperar el dinero invertido, de ahí en adelante la finca se estaría ahorrando un dinero mensual en combustible de \$160.000 y en 6 meses de \$960.000. Actualmente la gasolina está aumentando considerablemente el

precio en Colombia, por lo tanto, la implementación de este sistema tiene viabilidad y esta relacionando con la transición energética. Ahora bien, en cuanto a las emisiones de CO₂ estas disminuirán en gran medida desde el momento en que se implementa el sistema de ordeño fotovoltaico, el motor de ordeño está generando 1.122,66 Kg CO₂ eq/TJ de dióxido de carbono en un mes en 28 meses son:

$$78586,2 KgCO_2eq/TJ \times 28 = 2.200.413,6 KgCO_2eq/TJ$$

De acuerdo a lo anterior, el sistema fotovoltaico estaría disminuyendo 2.200.413,6 KgCO₂eq/TJ de dióxido de carbono, este siendo un dato bastante considerable ya que se estaría contribuyendo al cuidado del medio ambiente. además, es fundamental tener en cuenta que el valor de la inversión y las emisiones cambiarán de acuerdo con los precios y especificaciones de las partes del sistema fotovoltaico que se elijan puesto que, entre menor costo, menor tiempo de recuperar el dinero y menores serán las emisiones de CO₂.

CAPITULO IX

9 Conclusiones

En conclusión, es de vital importancia que todas las empresas que se dedican al sector primario, sin importar su tamaño, se comprometan con la protección del medio ambiente y busquen constantemente mejorar sus procesos. Esto implica identificar aquellos que generan impactos ambientales negativos. Para lograr una mejora en estos procesos productivos, las estrategias de PML son la solución ideal. Estas estrategias permiten reducir la contaminación generada por los procesos, proteger los recursos naturales, disminuir costos y establecer procesos sostenibles de mejora continua, promoviendo la eficiencia y la sostenibilidad en sus operaciones.

Para los procesos de explotación lechera el implementar las estrategias de PML es importante, ya que esta es una de las actividades industriales principales generadoras de GEI, siendo fundamental aplicar energías renovables disminuyendo las emisiones y reduciendo los costos a mediano o largo plazo. Para poder identificar las problemáticas ambientales que tienen los procesos en una empresa o en este caso el sector lechero es importante evaluar las diferentes etapas que los componen e identificar y los impactos ambientales a evaluar, así de esta manera se podrá plantear cuáles son las estrategias de PML que son adecuadas y cumplen con el objetivo principal de disminuir el impacto ambiental generado.

Cabe señalar que el diagnóstico inicial fue la base para reconocer en qué medida y de qué manera los procesos estaban generando impacto en el medio ambiente, por lo que es recomendable que este tipo de diagnósticos se realicen cada determinado tiempo ya que permitirá a la empresa o a la industria poder reconocer los impactos ambientales que están siendo ocasionados en el proceso, esto con el propósito de proponer estrategias de prevención y mejora continua del mismo.

En cuanto a la propuesta del diseño fotovoltaico se deben tener en cuenta la cantidad de energía que tiene actualmente el sistema para poder calcular adecuadamente cuantos elementos se necesitan para

diseñar y aplicar el sistema fotovoltaico de un motor de ordeño que satisfaga la energía que este usa para funcionar de manera eficiente.

Otro aspecto fundamental es la encuesta realizada ya que en esta el 100% de la población campesina está dispuesta a utilizar estos tipos de sistemas de ordeño con energías renovables contribuyendo al cuidado del medio ambiente y a la disminución de los costos a un mediano o largo plazo. Lo cual lleva a que se sigan realizando este tipo de investigaciones para ampliar conocimientos y lo más importante para contribuir a la mejora continua de los procesos de la ganadería lechera sostenible.

De la misma manera, se ve reflejado que el proyecto es viable ya que aunque es un plazo de aproximadamente de 2 años de haber implementado el sistema fotovoltaico que se llega haber completado el dinero invertido de ahí en adelante la finca se estaría ahorrando un dinero mensual en combustible de \$160.000 y en 6 meses de \$960.000, claro está que como el dinero se recupera varios años más adelante sería un valor más alto de ahorro ya que cada año el valor del combustible va aumentando en gran medida. Ahora bien, No solo se ahorra en dinero, sino que también en cuanto a la disminución de las emisiones de CO₂ ya que al implementar el sistema de ordeño fotovoltaico se estarán disminuyendo $2.200.413,6 \text{ KgCO}_2\text{eq/TJ}$

Finalmente, para el diseño fotovoltaico se necesitarán de 2 baterías, 1 panel solar, 1 controlador de carga de 37 A y un inversor que sea de 24V de entrada y 110 V de salida. Acá en este punto siendo importante tener en cuenta que dependiendo la energía que necesite el sistema de ordeño así mismo será la cantidad que se necesiten de estos elementos. Por lo que para otro sistema de ordeño será importante calcular cada uno de los datos.

Se evaluaron las etapas del proceso lechero definiendo unos parámetros a considerar (Maquinaria, pastoreo, transporte, distribución y generación de gas metano), se realizó el diagnóstico inicial con los parámetros seleccionados mostrando la cantidad de emisiones de GEI producidas; se planteó el diseño

fotovoltaico calculando los elementos que se necesitan para que funcione de manera óptima y finalmente se evaluó la viabilidad que tiene la implementación de este tipo de sistemas de ordeño y su beneficio.

10 Referencias

Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Senepol y sus cruces- Asosenepol. (25 de junio de 2021).

Ganadería regenerativa en Colombia. Obtenido de Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Senepol y sus cruces- Asosenepol: <http://asosenepolcolombia.com/portal2/wp-content/uploads/2021/06/GANADERIA-REGENERATIVA-EN-COLOMBIA.pdf>

Avalos Ortecho, E. M. (2018). Modelo de mejora ambiental para la producción mas limpia de cobre, y su influencia en la gestión empresarial con ecuaciones estructurales. *Industrial Data*, 21(2), 63-72. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/816/81658967010/html/>

Bessel. (s.f). *Paneles Solares Policristalinos*. Obtenido de Bessel: <https://www.bessel.com.ar/paneles-solares-policristalinos/>

Camargo Ayala, L., & Garzón Rico, P. (2018). *Evaluación de la implementación de energía solar fotovoltaica en la ganadería sostenible en Toca, Boyacá*. Universidad Católica. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/be4fe9f7-9b9f-479c-a398-d6cce29434ef/content>

Carro Travieso, M. D. (11 de noviembre de 2019). *Medidas para reducir el metano emitido por el ganado: ¿Cuáles son efectivas y cuáles no?* Obtenido de The conversation: <https://theconversation.com/medidas-para-reducir-el-metano-emitido-por-el-ganado-cuales-son-efectivas-y-cuales-no-171439>

Celsia. (5 de mayo de 2018). *Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?* Obtenido de Celsia: <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>

De La Cruz, J., Porta, M. A., & Buser, C. (2003). *Producción más limpia en el sector de productos lácteos*. El Salvador: Talleres Gráficos UCA.

Del grecco, J. (2020). *Sistemas de pastoreo*. Escuela Agro técnica Libertador General San Martín.

Obtenido de <https://eac.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/12/SISTEMAS-DE-PASTOREO-1-0.pdf>

Díaz Pulido, A., Chiquito García, S., & Rúa Franco, M. (2020). *Ganadería regenerativa*. Obtenido de

instituto de investigación de recursos biológicos alexander Von Humbolt Colombia:

<http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2020/cap4/411/#seccion3>

Ecotec. (s.f). *Biodigestores*. Obtenido de instituto de investigaciones en ecosistemas y sustentabilidad

unam.: [https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biodigestores-](https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biodigestores-2#:~:text=Un%20biodigestor%20es%20un%20contenedor,un%20proceso%20de%20biodigesti%C3%B3n%20anaerobio)

[2#:~:text=Un%20biodigestor%20es%20un%20contenedor,un%20proceso%20de%20biodigesti%C3%B3n%20anaerobio](https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biodigestores-2#:~:text=Un%20biodigestor%20es%20un%20contenedor,un%20proceso%20de%20biodigesti%C3%B3n%20anaerobio)

EFEverde. (25 de mayo de 2016). *La producción de alimentos causa el 60% de la pérdida de*

biodiversidad. Obtenido de EFEverde: [https://efeverde.com/producir-alimentos-causa-60-](https://efeverde.com/producir-alimentos-causa-60-perdida-biodiversidad-unea2/#:~:text=-%20Los%20sistemas%20actuales%20de%20producci%C3%B3n,en%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)

[perdida-biodiversidad-unea2/#:~:text=-](https://efeverde.com/producir-alimentos-causa-60-perdida-biodiversidad-unea2/#:~:text=-%20Los%20sistemas%20actuales%20de%20producci%C3%B3n,en%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)

[%20Los%20sistemas%20actuales%20de%20producci%C3%B3n,en%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s](https://efeverde.com/producir-alimentos-causa-60-perdida-biodiversidad-unea2/#:~:text=-%20Los%20sistemas%20actuales%20de%20producci%C3%B3n,en%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)

FEDEGAN Fondo Nacional de Ganaderos. (31 de julio de 2015). *Número de vacas por hectárea se duplica*

en fincas tecnificadas. Obtenido de FEDEGAN Fondo Nacional de Ganaderos:

<https://www.fedegan.org.co/noticias/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>

FEDEGAN Fondo Nacional del Ganado. (1 de abril de 2022). *Balance y perspectivas del sector ganadero*

colombiano 2021 –2022. Oficina de planeación y estudios económicos. Obtenido de Oficina de

Planeación y Estudios Económicos:

https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Balance_Perspectivas_ganaderia_colombiana_2021_2022_.pdf&ildFiles=817#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20le

che%20en,de%20litros%20producidos%20en%202021.&text=Fuente%3A%20Seg%C3%BAAn%20i
nforma

Gallo Aponte, W. I., & Sanabria Rodelo, A. (2019). *Evaluación de Impacto Ambiental y ganadería*

extensiva en Colombia. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Obtenido de

<https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/0e08b404-c874-4031-a755-5b0d1c168d7c/content>

Gobernación de Boyacá. (s.f). *Boyacá produce 1 millón 289 mil litros de leche diarios*. Obtenido de

Gobernación de Boyacá.: <https://www.boyaca.gov.co/boyaca-productor-lacteo-dia-mundial-leche/>

Gómez Palencia, L., Sánchez Pulido, A., Moreno Quitian, H., Torres Triana, C. F., & Manrique Luna, D. (3 de Marzo de 2021). *ntensidad de emisiones por unidad de producto para la ganadería bovina en*

Colombia. Obtenido de Grupo banco Mundial, IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales y Biocarbono Orinoquia Paisajes sostenibles bajos en carbono):

<https://biocarbono.org/wp-content/uploads/2021/09/03-intensidad-emisiones-unidad-producto-ganaderia-bovina-colombia.pdf>

Greenpeace. (10 de junio de 2019). *La ganadería industrial está destruyendo el planeta*. Obtenido de

Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/la-ganaderia-industrial-esta-destruyendo-el-planeta/>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas:*

cuantitativa ,cualitativa y mixta. México: Mc Graw Hill Education. Obtenido de

<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

Hexagons Asset Lifecycle Intelligence Division. (s.f). *Gestión de costos del proyecto: Pasos, conceptos*

básicos y beneficios. Obtenido de Hexagons Asset Lifecycle Intelligence Division:

<https://www.ecosys.net/es/conocimientos/gestion-de-costos-del-proyecto-pasos-conceptos->

basicos-y-

beneficios/#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20de%20costos%20del%20proyecto%20es%20el%20proceso%20de,gastos%20dentro%20del%20presupuesto%20aprobado.

Ineldec Ingeniería Eléctrica. (s.f). *Panel Solar 345W Monocristalino Powest*. Obtenido de Ineldec

Ingeniería Eléctrica: <https://ineldec.com/producto/panel-solar-345w-powest-mono/>

Infobae. (25 de septiembre de 2022). *Así disminuyó el consumo de leche en los hogares colombianos*

entre abril y junio de este año. Obtenido de Infobae:

<https://www.infobae.com/america/colombia/2022/09/25/asi-disminuyo-el-consumo-de-leche-en-los-hogares-colombianos-entre-abril-y-junio-de-este->

[ano/#:~:text=Frente%20a%20la%20composici%C3%B3n%20de,otros%20derivados%20l%C3%A1cteos%20\(12%20%25](https://www.infobae.com/america/colombia/2022/09/25/asi-disminuyo-el-consumo-de-leche-en-los-hogares-colombianos-entre-abril-y-junio-de-este-)

LasDistancias.net. (s.f). *Cómo ir de Chiquinquirá a San Miguel De Sema*. Obtenido de LasDistancias.net:

<http://co.lasdistancias.net/ruta-como-ir-de-chiquinquira-a-san-miguel-de-sema>

LIFE Montado-Adapt. (17 de septiembre de 2020). *El futuro depende de nuestra capacidad de*

adaptación: Pastoreo adaptativo en Multi-paddock. Obtenido de LIFE Montado-Adapt:

<https://lifemontadoadapt.com/?n=470>

Madroñero Palacios, S., & Guzmán Hernández, T. (2018). Desarrollo sostenible aplicabilidad y sus

tendencias. *Tecnología en Marcha*, 31(3), 122-130. Obtenido de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7442020>

Ministerio de Cultura y Deporte – Gobierno de España. (s.f). *Alcaldía Municipal de San Miguel de Sema*

Boyacá. Obtenido de Ministerio de Cultura y Deporte – Gobierno de España:

<http://censoarchivos.mcu.es/CensoGuia/archivodetail.htm?id=1757780>

Ministerio para la transición ecológica. (31 de mayo de 2019). *Guía para el cálculo de la huella de*

carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Obtenido de Ministerio

para la transición ecológica: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf

Moncada, M. (6 de junio de 2022). *Producción de leche en sistemas sostenibles y regenerativos*.

Obtenido de Zamorano: <https://www.zamorano.edu/2022/06/06/produccion-de-leche-en-sistemas-sostenibles-y-regenerativos/>

Monroy Ávila, E. F., Peña Monroy, C. A., & Garzón Cortés, G. (2019). Estrategias de producción más limpia –PML: caso. *Revista producción + limpia*, 14(1), 61-75. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v14n1/1909-0455-pml-14-01-61.pdf>

Muñoz, O. F., Ponce Benites, W. A., Calderón Ñaccha, G. L., & Teran Sotelo, R. Z. (2016). Diseño de una ordeñadora que funcione con energía fotovoltaica. *Revistas de investigación Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 3(4), 71-80. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Theo/article/view/12605/11292>

Narváez Vanegas, A. M., & Aguilar García, C. A. (2018). *Propuesta de un sistema de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante energías fotovoltaicas. Estudio de caso “hacienda la trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema - Chiquinquirá, Boyacá*. Universidad del Bosque. Repositorio institucional Universidad el Bosque. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3227/Aguilar_Garc%C3%ADa_Cesar_Augusto_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Organización de las Naciones Unidas. (29 de noviembre de 2006). *La ganadería produce más gases contaminantes que el transporte*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2006/11/1092601>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f). *Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/gleam/es/>

- Organización de las Naciones Unidas. (s.f). *¿Qué son las energías renovables?* . Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Ortega García, A. (2007). Posicionamiento socioeconómico de la leche. En M. Olivera Angel , *Buenas Prácticas de Producción Primaria de Leche* (págs. 11-25). Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/issue/view/2526>
- Perdomo, L. (1 de abril de 2022). Ganadería sostenible para reducir la huella de carbono. *Portafolio*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/tendencias/ganaderia-sostenible-para-reducir-la-huella-de-carbono-563640>
- Rodríguez Medina, G., Balestrini Atencio, S., Balestrini Atencio, S., Meleán Romero, R., & Rodríguez Castro, B. (2002). Análisis estratégico del proceso productivo en el sector industria. *Revista de Ciencias Sociales*, 8(1), 135-156. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/280/28080109.pdf>
- Samayoa, A. (7 de octubre de 2019). *Curso de producción más limpia (PML) como herramienta para el manejo integrado de cuencas*. Obtenido de Centro Guatemalteco de Producción más Limpia: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/curso_produccion_mas_limpia2.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (8 de junio de 2015). *Ganadería bovina y sus derivados*. *Gobierno de México*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/ganaderia-bovina-y-sus-derivados#:~:text=Cuando%20hablamos%20de%20ganader%C3%ADa%20bovina,consumo%20humano%20y%20otros%20art%C3%ADculos>
- SENER Secretaria de Energía. (31 de enero de 2021). *Transición Energética*. Obtenido de SENER Secretaria de Energía: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610957/Cap3_-_Transicio_n_Energe_tica_WEB.pdf

Shell. (s.f). *Transición energética*. Obtenido de Shell:

<https://www.shell.com.co/sostenibilidad/transicion-energetica.html#>

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (30 de abril de 2020). *Cadena láctea colombiana, Análisis*

Situacional Cadena Láctea. Obtenido de Ministerio de agricultura y ganadería:

https://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf

Universidad Nacional autónoma de México. (12 de julio de 2021). *Adiós a metano en erctos de vacas,*

con moringa. Boletín UNAM-DGCS-580. Obtenido de Universidad Nacional autónoma de México:

https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_580.html#:~:text=Se%20estima%20que%20una%20vaca,%2C%20320%20gramos%2C%20en%20promedio.

Villafuerte Alccalaico, W. (2019). *Implementar un sistema*. Universidad continental. Obtenido de

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10967/1/IV_FIN_111_TI_Villafuerte_Alccalaico_2019.pdf