



**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**

**Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas**

**Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Bogotá, D.C., Colombia  
11 de mayo de 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**

**Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas**

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

Director: José Alfonso Avellaneda Cusarúa  
Línea de investigación: Gestión para el desarrollo urbano y rural sostenible y  
mejoramiento de la calidad de vida.

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Bogotá, D.C., Colombia  
2018

## Tabla de Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Planteamiento del problema</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1. Pregunta de investigación</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Justificación</b> .....	<b>12</b>
<b>5. Objetivos</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1. Objetivo general</b> .....	<b>13</b>
<b>5.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>6. Marco referencial</b> .....	<b>14</b>
<b>6.1. Descripción del territorio</b> .....	<b>14</b>
6.1.1. Caracterización demográfica del municipio .....	14
6.1.2. Ubicación de San Miguel de Sema .....	16
6.1.3. Ubicación de vereda de Sabaneca.....	17
6.1.4. Energías del sector .....	18
<b>6.2. Perspectiva teórica</b> .....	<b>20</b>
6.2.1. Estado del arte.....	20
6.2.2. Marco teórico conceptual.....	22
<b>7. Marco legal</b> .....	<b>24</b>
<b>8. Relación con el área y línea de investigación de la Facultad</b> .....	<b>26</b>
<b>9. Metodología</b> .....	<b>26</b>
<b>9.1. Diseño de la investigación</b> .....	<b>26</b>
9.1.1. Enfoque metodológico .....	29
9.1.2. Alcance de la investigación .....	30
9.1.3. Metodología de la investigación .....	31
9.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección de análisis de información.....	32
9.1.5. Plan de trabajo.....	33
9.1.6. Cuadro metodológico integración de objetivos (fases), metodología y resultados esperados por objetivo .....	34
<b>10. Resultados</b> .....	<b>36</b>
<b>10.1. Objetivo específico 1</b> .....	<b>36</b>
10.1.1. Diagnóstico económico.....	36
10.1.2. Diagnóstico social.....	38
10.1.3. Diagnóstico ambiental .....	39

<b>10.2. Objetivo específico 2</b> .....	<b>42</b>
10.2.1. Producción más limpia aprovechando los residuos grasos de una empresa lechera.....	44
10.2.2. Sistemas de Biogás en la producción lechera .....	47
10.2.3. Energía solar como alternativa de producción más limpia .....	51
<b>10.3. Objetivo específico 3</b> .....	<b>56</b>
10.3.1. Red eléctrica convencional .....	57
10.3.2. Tendencias en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos interconectados .....	59
10.3.3. Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico (FV) .....	59
10.3.4. Módulos fotovoltaicos .....	61
10.3.5. Inversor para inyección de energía solar en la red.....	63
10.3.6. Diseño técnico del sistema fotovoltaico propuesto.....	64
<b>11. Análisis y discusión</b> .....	<b>67</b>
<b>11.1. Objetivo específico 1</b> .....	<b>67</b>
11.1.1. Análisis de la propuesta del sistema solar fotovoltaico .....	68
<b>11.2. Objetivo específico 2</b> .....	<b>69</b>
11.2.1. Comparación cualitativa .....	69
11.2.2. Comparación cuantitativa .....	70
<b>11.3. Objetivo específico 3</b> .....	<b>71</b>
11.3.1. Análisis beneficio-costos .....	73
<b>12. Conclusiones</b> .....	<b>76</b>
<b>13. Recomendaciones</b> .....	<b>76</b>
<b>14. Bibliografía</b> .....	<b>78</b>
<b>15. Anexos</b> .....	<b>82</b>

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Población del municipio de San Miguel de Sema para el año 2005 y 2010 .....	14
<b>Tabla 2.</b> Población proyectada del municipio de San Miguel de Sema para el año 2018 .....	15
<b>Tabla 3.</b> Disponibilidad del sistema de alumbrado por vereda del municipio San Miguel .....	19
<b>Tabla 4.</b> Diseño metodológico .....	26
<b>Tabla 5.</b> Variables de la investigación .....	31
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones del motor que utiliza la máquina de ordeño marca Weizur .....	37
<b>Tabla 7.</b> Consumo en kWh y en pesos del proceso de recolección de leche en la Trinidad.....	38
<b>Tabla 8.</b> Factores de conversión para transformación de unidades de masa o volumen en unidades de energía.....	42
<b>Tabla 9.</b> Factor de emisión de cada combustible. ....	42
<b>Tabla 10.</b> Valoración del consumo de energía por proceso según el Plan de Manejo Ambiental de Residuos Líquidos.....	45
<b>Tabla 11.</b> Usos más frecuentes de energía en la empresa láctea según el Plan de Manejo Ambiental Residuos Líquidos.....	45
<b>Tabla 12.</b> Número de explotaciones lechera y número de vacas lecheras a nivel nacional .....	47
<b>Tabla 13.</b> Cálculo de producción de purines en un predio de tipo de pastoreo con 100 vacas en ordeña promedio año. ....	48
<b>Tabla 14.</b> Contenido energético de los desechos de varios animales y su valor.....	49
<b>Tabla 15.</b> Lechería seleccionada. ....	52
<b>Tabla 16.</b> Características de la lechería del ITCR.....	52
<b>Tabla 17.</b> Ahorro total que “podría” generar el sistema por día, por mes y por año. ....	52
<b>Tabla 18.</b> Resumen de las variables evaluadas en los paneles térmicos y fotovoltaicos ubicados en la lechería del ITCR.....	53
<b>Tabla 19.</b> Generación energética, potencial disminución de factura económica y disminución en las emisiones de GEI logrados por los sistemas de captación de energía solar. ....	53
<b>Tabla 20.</b> Balance de energía lograda de los sistemas solares y su ahorro en porcentaje en los tres meses de estudio. ....	54
<b>Tabla 21.</b> Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico TSM-PEG14 .....	61
<b>Tabla 22.</b> Características eléctricas del inversor Sunny Boy. ....	63
<b>Tabla 23.</b> Cuadro comparativo cuantitativo entre sistema de biodigestor y paneles solares.....	70
<b>Tabla 24.</b> Especificaciones técnicas de paneles solares .....	72
<b>Tabla 25.</b> Insumos asociados a la inversión de paneles solares .....	72
<b>Tabla 26.</b> Costo total de la inversión.....	73
<b>Tabla 27.</b> Costo de facturación energía eléctrica convencional .....	73
<b>Tabla 28.</b> Costo total inversión proyectado .....	74
<b>Tabla 29.</b> Costo de facturación proyectado.....	75

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Vereda Sabaneca y sus limitaciones.....	18
<b>Figura 2</b> Teoría general y sustantiva.....	22
<b>Figura 3.</b> Plan de trabajo por objetivos/fases.....	34
<b>Figura 4.</b> Estructura de metodología por fase y definición de resultados y análisis.....	35
<b>Figura 5.</b> Aspectos e impactos ambientales en empresas de productos lácteos otorgado por el Plan de Manejo Ambiental de Residuos Líquidos.....	44
<b>Figura 6.</b> Fuentes y usos de la energía en el procesamiento de productos lácteos otorgado por el plan de manejo ambiental residuos líquidos.....	46
<b>Figura 7.</b> Opciones aplicables al sector lácteo otorgados por la investigación de los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira. ....	46
<b>Figura 8.</b> Diagrama sistema fotovoltaico interconectado. ....	56
<b>Figura 9.</b> Mapa de radiación solar de la región andina.....	58
<b>Figura 10.</b> Potencial solar para Colombia.....	60
<b>Figura 11.</b> Conexión de los módulos fotovoltaicos mostrando los diodos de protección .....	62
<b>Figura 12.</b> Vista frontal y en planta del panel solar seleccionado con.....	64
una inclinación de 15° (Las medidas están dadas en metros) .....	64
<b>Figura 13.</b> Vista del panel solar seleccionado en perfil vertical y .....	64
horizontal (las medidas están dadas en metros).....	64
<b>Figura 14.</b> Dimensiones detalladas de cada panel solar: distribución de.....	65
células y célula individual (las medidas están dadas en metros) .....	65
<b>Figura 15.</b> Vista frontal de una sección de paneles instalados (las medidas están dadas en metros) .....	65
<b>Figura 16.</b> Diseño de la distribución de los 66 paneles solares (las medidas están dadas en metros) .....	66
<b>Figura 17.</b> Despiece de un panel solar en 3D .....	66

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

### Índice de Gráficas

<b>Gráfica 1.</b> Población de San Miguel de Sema durante los años 2005, 2010 y 2018. ....	15
<b>Gráfica 2.</b> Disponibilidad del sistema de alumbrado del municipio de San Miguel de Sema.....	19
<b>Gráfica 3.</b> Definición de HSS .....	58
<b>Gráfica 4.</b> Potencial solar para la ciudad de Tunja en 2017 .....	60
<b>Gráfica 5.</b> Curvas características del módulo fotovoltaico TSM-PEG14.....	62
tomada de la hoja de datos del fabricante. ....	62
<b>Gráfica 6.</b> Curva de eficiencia del inversor Sunny Boy 700-US tomada del catálogo del producto.....	63

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

### Índice de Imágenes

<b>Imagen 1.</b> Ubicación de San Miguel de Sema en Colombia.....	16
<b>Imagen 2.</b> Ubicación de San Miguel de Sema en Boyacá .....	16
<b>Imagen 3.</b> Mapa de San Miguel de Sema y limitaciones.....	17
<b>Imagen 4.</b> Ubicación la vereda Sabaneca.....	18
<b>Imagen 5.</b> Ganado Vacuno de Hacienda la Trinidad. ....	36
<b>Imagen 6.</b> Equipos de ordeño en Hacienda la Trinidad.d .....	37
<b>Imagen 7.</b> Proceso de ordeño de una cabeza de ganado Hacienda la Trinidad.....	38
<b>Imagen 8.</b> Hacienda la Trinidad, municipio de San Miguel de Sema - Boyacá. ....	39
<b>Imagen 9.</b> Energías Alternativas: Biodigestores, Turbina eólica y paneles fotovoltaicos.....	43
<b>Imagen 10.</b> Biodigestor de flujo continuo implementado en una finca de pequeña .....	51
y mediana producción. ....	51
<b>Imagen 11.</b> Biodigestor de tipo mezcla completa implementado para una lechería de gran producción	51



## Resumen

Hacienda la Trinidad está ubicada en la vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema-Chiquinquirá en Boyacá, Colombia. En esta hacienda se desarrolla la producción de leche y su abastecimiento energético depende de fuentes de energía convencionales. Sin embargo, en el municipio de San Miguel de Sema se presentan irregularidades en la prestación de servicios públicos ya que se manifiestan periodos de cortes de energía eléctrica que afectan la producción.

A partir de esto, se identifica la posibilidad de apostarle a las energías renovables y más específicamente a la energía solar para responder a la demanda que tiene la hacienda. Esta investigación tuvo como fin proponer un diseño de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante la introducción de la energía fotovoltaica.

Como enfoque metodológico se definió uno de carácter mixto, donde se tuvo en cuenta la observación y evaluación de fenómenos como el uso de energías alternativas. Como resultados, se obtuvo un diagnóstico económico, social y ambiental del sistema convencional de producción de leche en la Hacienda la Trinidad; se compararon las energías alternativas como la eólica, la biomasa y la solar, en la aplicación a este proceso productivo lechero y finalmente se calculó y diseñó un sistema fotovoltaico que dé abasto a la demanda energética de la hacienda.

Se concluye que el sistema de paneles fotovoltaico estará interconectado a la red eléctrica local, que constará de 66 módulos conectados en serie para generar una potencia nominal total de 22,240 kWh. Así mismo, se destaca que la implementación del sistema fotovoltaico es viable, pues se obtendría un beneficio neto en 30 años (vida útil del proyecto) del **82.91%** y una relación beneficio/costo de **4.85**.

**Palabras clave:** Sistema fotovoltaico, potencia nominal, producción más limpia, energías alternativas.

### Abstract

The Hacienda la Trinidad is located in the village of Sabaneca, which is located between the municipalities of San Miguel de Sema and Chiquinquirá in Boyaca, Colombia. In this location, the milk production is developed and the energetic power depends on the conventional energy sources. However, in the municipality of San Miguel de Sema there are irregularities in the provision of public services that manifest periods of power cuts that affect production.

From this, the possibility of betting on renewable energies and more specifically on solar energy is identified to respond to the energy demand of the hacienda. The purpose of this research is to propose a cleaner production design in the dairy farming sector using photovoltaic energy.

As a methodological approach, a mixed approach was defined, which took into account the evaluation and evaluation of phenomena such as the use of alternative energies. As results, an economic, social and environmental diagnosis of the conventional system of milk production in the Hacienda la Trinidad is obtained; compare wind, biomass and solar alternative energies in the application to this dairy production process; and, finally a photovoltaic system is calculated and designed to meet the energy demand of the hacienda.

It is concluded that the photovoltaic panel system will be interconnected to the local electrical network, which will consist of 66 modules connected in series to generate a total nominal power of 22,240 kW. Therefore, it can be concluded that the implementation of the photovoltaic system is viable because it can be obtained with a Net Profit in 30 years (useful life of the project) of **82.91%** and a benefit / cost ratio of **4.85**.

**Keywords:** Photovoltaic system, Nominal power, Cleaner production, Alternative energies

## 1. Introducción

La presente investigación recoge los resultados del estudio que se llevó a cabo en la Hacienda la Trinidad vereda de Sabaneca, ubicada en el municipio de San Miguel de Sema-Chiquinquirá, Boyacá, en torno a las características sociales, ambientales y económicas, con relación al uso de la energía fotovoltaica y su implementación como estrategia de producción más limpia. De igual forma, se describieron aspectos geográficos en el contexto de estudio, relacionados con la energía solar para el desarrollo del tercer objetivo específico, en donde se realizó el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso.

Boyacá es uno de los departamentos más grandes e importantes que tiene el país en términos de producción agrícola y, de acuerdo con datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), censo 2005 y Sistema Único de Información (SUI) en Boyacá, el 96,6% de la población tiene acceso al servicio de electricidad, el 72,8% tiene acceso al servicio de acueducto y el 58,44% tiene acceso al servicio de alcantarillado (Gobernación de Boyacá, 2016). El porcentaje de acceso al servicio de electricidad para Boyacá en el año 2014 fue un 0,07% más bajo, comparado con el nacional (Gobernación de Boyacá, 2016).

El análisis del acceso a servicios públicos, muestra en el área urbana una cobertura de servicio de electricidad del 100% y un 92,62% en el resto, siendo 7,38% menor la cobertura en el área rural que la registrada en el área urbana. De acuerdo al reporte de cobertura, certificado por las alcaldías al SUI, en el año 2014 el 45% de los municipios (55) reportaron cobertura de servicio de electricidad del 100%, el 38,2% (47) reportaron cobertura entre 90% y 99%, el 13% (16) reportó cobertura entre 70% y 89% (Gobernación de Boyacá, 2016).

En el departamento de Boyacá la empresa que presta el servicio de energía, llamada EBSA (Empresa de energía de Boyacá S.A ESP), indica que a los boyacenses les hace falta acatar el llamado del ahorro de energía. La entidad prestadora de servicio (EBSA) registró un consumo de los usuarios (hogares y comerciales) donde indica que aumentó en el mes de febrero del 2016 un 13%, respecto al mismo mes del año anterior y el de usuarios no regulados (industriales y alumbrado público) registró un incremento del 4% (Díaz, 2016).

Pese a la amplia difusión de campañas para el ahorro de energía y agua, además de la iniciativa de prevención para evitar el racionamiento energético, los boyacenses consumen más de 47.600 MW/h, lo cual indica un alto gasto de energía. Esto se debe al agotamiento de las fuentes tradicionales (combustibles fósiles), lo que ha llevado a la mayoría de países a buscar soluciones en energías alternativas; Colombia tiene un gran potencial en la generación de este tipo de energías por su posición geográfica y ya está trabajando en ello.

Las energías alternativas o renovables son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la Tierra. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía (Ministerio de Educación, 2016).

En Colombia, la producción de energía proviene principalmente de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. Por eso el Gobierno Nacional, en los últimos

años, ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética y contribuir a un ambiente más limpio (Díaz, 2016).

Por último, para el desarrollo del trabajo investigativo fue útil el Decreto 0570 del 23 de marzo de 2018, expedido por el Ministerio de Minas y Energía, el cual tiene como objetivo principal establecer los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica. Además, este Decreto plantea fortalecer la generación de energía eléctrica ante eventos de variabilidad y cambio climático, a través de la diversificación del riesgo y promueve el aumento de la inversión en proyectos de generación de energía eléctrica nuevos y/o existentes. Por último, fomenta el desarrollo económico sostenible y busca incrementar la seguridad energética regional, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero del sector. Todo esto, dentro de los compromisos adquiridos por Colombia en la Cumbre Mundial de Cambio Climático en París (COP21). (Ministerio de Minas y Energía, 2018)

## 2. Antecedentes

Este trabajo se realizó con el fin de hacer una investigación, poniendo en práctica los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera profesional, relacionados con la sostenibilidad ambiental y producción más limpia.

El estudio se llevó a cabo, en la Hacienda la Trinidad la cual está ubicada en la vereda de Sabaneca, entre los municipios de San Miguel de Sema y Chiquinquirá en Boyacá, Colombia. Esta hacienda tiene producción de leche con base en cría de ganado. Se realizó el diseño de un montaje de paneles solares para abastecer las máquinas de ordeño. Este montaje permitiría reducir el impacto ambiental, ya que las fuentes de energía convencionales de estos equipos son a gasolina o usan energía eléctrica.

Para empezar a hablar de energías renovables y fotovoltaicas, se debe retroceder y saber de dónde vienen estas tecnologías. Principalmente, los romanos fueron los primeros en usar vidrio en sus ventanas para atrapar la luz solar en sus hogares. En 1867 el científico suizo Horace de Saussure desarrolló el primer colector solar. En el año 1880 se fabricaron las primeras celdas fotovoltaicas de luz visible, hechas de selenio, con una eficiencia de conversión de 1 a 2%. (Anónimo, EnergíaSolar, 2015)

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esta transformación se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del sol (fotones) incide en una de las caras de la célula solar genera una corriente eléctrica. Esta electricidad generada se puede aprovechar como fuente de energía (Anónimo, CNP, 2015). Las celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente. (Anónimo, EnergíaSolar, 2015).

Fue necesario consultar la literatura y asistir al sitio de estudio para ver el funcionamiento de las máquinas de ordeño convencionales que se usan en el momento en la hacienda. Estas máquinas son un aparato que permite realizar el ordeño (cabezas de ganado) de forma mecánica. El elemento principal de estas máquinas es la copa de ordeño que se aplica al pezón e imita un proceso de succión. Como es mencionado anteriormente, lo que se hizo fue un diseño de estas mismas máquinas de ordeño, pero con

energía solar, usando paneles solares en estas. Se obtuvo, que no es muy usual la implementación de esta maquinaria en la zona, debido a la falta de información y adelanto en el sector ganadero, aunque es una maquinaria más costosa al momento de obtenerla, es más eficiente.

### **3. Planteamiento del problema**

La población de San Miguel de Sema presenta varios problemas sociales y económicos, por parte de su dirección como municipio de Boyacá, donde se pudo evidenciar la ausencia de las empresas de servicios públicos, tales como la de energía y agua. Dentro de los principales problemas se presentó la deficiencia de la energía eléctrica que afecta el sector ganadero, ya que muchas de las fincas y/o haciendas dependen de este servicio para la realización de sus labores cotidianas como los son el funcionamiento de las máquinas de ordeño. Se ha evidenciado que durante periodos de deficiencia de energía eléctrica se presentan averías en estas máquinas, que además de presentar costos elevados de reparación y mantenimiento, afectan la actividad productiva, surgiendo la necesidad de buscar alternativas energéticas sostenibles y de bajo costo que facilite la operación del ordeño.

#### *3.1. Pregunta de investigación*

¿Cuál sería el área necesaria para suplir a través de la energía solar fotovoltaica las demandas de la industria lechera en la vereda de Sabaneca de Hacienda la Trinidad, municipio de San Miguel de Sema-Chiquinquirá, Boyacá?

### **4. Justificación**

La investigación se refirió a la propuesta de diseño de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante energía fotovoltaica en la Hacienda la Trinidad. Para esto fue indispensable contextualizar sobre el tema a tratar. La energía solar fotovoltaica se puede definir como aquella tecnología que genera corriente eléctrica continua por medio de semiconductores, cuando estos son incididos por un haz de fotones. Es decir, transforma de manera directa la radiación solar en electricidad, cuando la radiación choca sobre una célula solar, que es el nombre que recibe el elemento fotovoltaico, se genera potencia eléctrica; si se presenta disminución de radiación solar, la potencia eléctrica disminuye. Las células solares no tienen dependencia de baterías y algunas de estas presentan un periodo de duración de más de 30 años (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002).

La electricidad, producto de las energías solares fotovoltaicas, es limpia. Es decir, genera bajas cantidades de sustancias contaminantes y además son de larga duración. Por esta razón presentan contribución en el desarrollo sostenible y también generan oportunidades de empleo en la zona en la cual se estén haciendo uso de las mismas. La energía fotovoltaica es ideal para aquellas zonas rurales en las cuales los sistemas eléctricos convencionales no son accesibles o presentan dificultades de instalación, como es el caso de la vereda Sabaneca, más específicamente en la Hacienda la Trinidad. (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002).

Este proyecto permitió formular una alternativa de producción más limpia en el sector ganadero, ya que se diseñó un sistema de máquinas de ordeño con paneles solares. A continuación, se describieron los aportes del proyecto en cada aspecto:

- Ambiental- Ecológico: Al llegar a ser implementado el proyecto en la hacienda se generarían prácticas de producción más limpia, se optimizaría el proceso de ordeño con energías renovables y se disminuiría en impacto ambiental que generan las máquinas de ordeño convencionales.
- Económico: Disminución de costos en el mantenimiento de las máquinas convencionales ya que suelen dañarse con más frecuencia. En el caso de que la finca no maneje este tipo de maquinaria se disminuirá el uso de mano de obra para ordeñar manualmente y se generarían menos costos para los ganaderos. Además, al ser un sistema que optimizará el proceso se lograría generar más producción en menos tiempo.
  - Social: Se define a partir de los siguientes aspectos:
    - Motivar a la comunidad de ganaderos a implementar sistemas más eficientes y que generen menos impacto al ambiente.
    - Mejora en los procesos productivos, de esta forma la finca/hacienda tendrá su producto final en menor tiempo.
    - Como aún se practica el ordeño manual por los mismos campesinos, evitará que sacrifiquen más tiempo haciendo este proceso.
  - Ingeniería ambiental: Su importancia está dada por los siguientes ítems:
    - Generación de prácticas de producción más limpia el cual optimizará procesos.
    - Relación entre sociedad-naturaleza, es un eslabón en la cadena del desarrollo sustentable, para llevar a cumplir las metas planteadas.

## 5. Objetivos

### 5.1. *Objetivo general*

Formular una propuesta para la implementación de un proyecto de uso de energía solar fotovoltaica en el sector ganadero lechero para una producción más limpia. Estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema-Chiquinquirá, Boyacá.

### 5.2. *Objetivos específicos*

- Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ambientales.
- Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente al sistema fotovoltaico para la industria lechera.
- Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.

## 6. Marco referencial

### 6.1. Descripción del territorio

La Hacienda la Trinidad tiene un área aproximada de 20 fanegadas de tierra, aproximadamente, ubicada en la vereda de Sabaneca, con 12.8 hectáreas dentro del perímetro del municipio de San Miguel de Sema. Cuenta con un total de 250 a 300 cabezas de ganado Holstein, divididas en parcelas o más conocido como hatos. Allí se encuentran de 40 a 50 cabezas por hato, donde se realiza un pastoreo de rotación cada 30 días.

El sector del Valle de Ubaté es reconocido a nivel nacional por su explotación lechera y ganadera. Llamada la capital lechera de Colombia, exclusiva por tener un promedio de producción de 250.000 litros de leche diarios, sus tecnologías han llevado a este sector a lo más alto en la industria lechera donde día a día se capacitan por ser más sostenibles y por implementar energías limpias que ayuden a una mejora continua en sus procesos de producción. Toda la leche producida se vende en el sitio de producción y se lleva a las pasteurizadoras de Ubaté, Simijaca, Chiquinquirá y Bogotá.

#### 6.1.1. Caracterización demográfica del municipio

El último censo nacional, realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) del año 2005, registró para el municipio de San Miguel de Sema una población de 471 habitantes en la cabecera municipal y 3557 en el resto del municipio, lo cual representa una población total del municipio de 4028 habitantes como se ve puede observar en la **Tabla 1**. El DANE realizó una proyección para el 2010, donde se estima que habría 4589 habitantes totales, dividiéndose en 485 habitantes para la cabecera y 4104 para el resto de la jurisdicción.

**Tabla 1.** Población del municipio de San Miguel de Sema para el año 2005 y 2010

<b>Viviendas, Hogares y Personas</b>				
<b>Área</b>	<b>Viviendas Censo</b>	<b>Hogares General</b>	<b>Personas 2005</b>	<b>Proyección Población 2010</b>
Cabecera	112	118	471	485
Resto	993	952	3.557	4.104
<b>Total</b>	<b>1.105</b>	<b>1.070</b>	<b>4.028</b>	<b>4.589</b>

**Fuente:** (DANE, 2010)

A partir de lo anterior, se determinó la población para el año 2018 por medio del método de crecimiento geométrico, con las proyecciones del censo nacional de 2005, realizado por el DANE, con el fin de tener un análisis más detallado de comportamiento de la población del municipio en el presente año. Se optó por el método de crecimiento geométrico, por su utilidad en poblaciones que presentan un crecimiento económico importante, los resultados de la proyección realizada para el año 2018 son los siguientes:

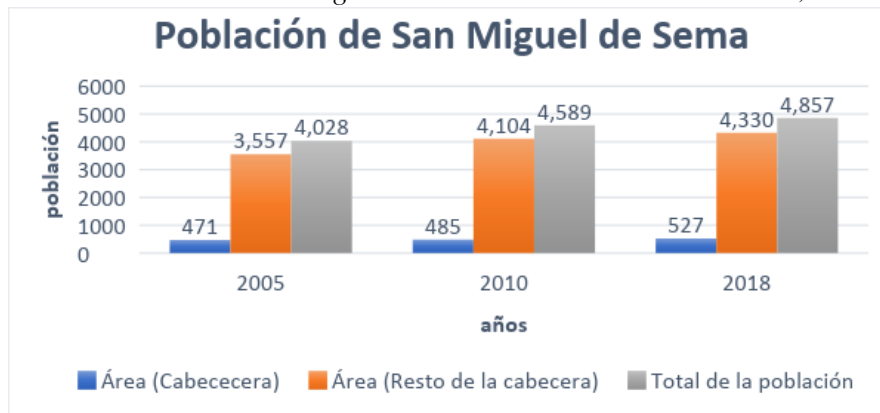
**Tabla 2.** Población proyectada del municipio de San Miguel de Sema para el año 2018

Año	Área (Cabecera)	Área (Resto de la cabecera)	Total, de la población
2005	471	3557	4028
2010	485	4104	4589
2018	527	4330	4857

**Fuente:** Autores, 2018

Con los resultados obtenidos se estima que el municipio de San Miguel de Sema presenta una población aproximada de 527 habitantes en la cabecera municipal y 4330 en el resto del territorio, obteniendo como población total del municipio de 4857 habitantes para el año 2018. Teniendo en cuenta la población proyectada para el 2018 se puede decir que, a pesar de ser un municipio de poca extensión territorial, tiene un buen crecimiento poblacional por las diferentes actividades agrícolas productivas que se realizan en la región.

**Gráfica 1.** Población de San Miguel de Sema durante los años 2005, 2010 y 2018.



**Fuente:** Autores, 2018

La base de la economía de San Miguel de Sema es el sector agropecuario y en especial la ganadería dedicada a la producción de leche.

Predomina el minifundio, puesto que los 2559 predios que tiene el sector, según cifras de la Corporación Autónoma Regional (CAR) el 84% tiene menos de 5 hectáreas, el 9% tiene entre 5 y 10 hectáreas, el 4% tiene entre 10 y 20 y el 3% tiene más de 20 hectáreas. Las fincas más grandes, aunque pocas, se ubican cerca al río Suárez y están siendo utilizadas casi en su totalidad para la ganadería.

La agricultura se produce para el autoconsumo; se estima que el 75% del área rural practica la ganadería y el 25% la agricultura y a la vivienda (POT, 2011).

6.1.2. *Ubicación de San Miguel de Sema*

San Miguel de Sema es un municipio colombiano ubicado en la provincia de Occidente en el departamento de Boyacá.

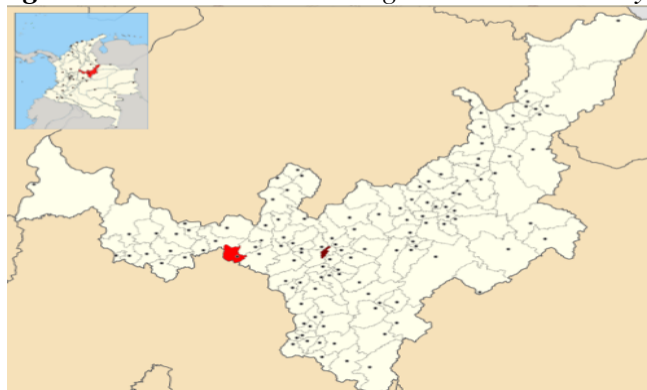
**Imagen 1.** *Ubicación de San Miguel de Sema en Colombia*



**Fuente:** (Google Earth, 2017)

Limita al norte con el municipio de Chiquinquirá, al sur con la laguna de Fúquene, al oriente con los municipios de Tinjacá y Ráquira, y por último, al occidente con los municipios de Susa y Simijaca. Tiene una buena infraestructura vial, bien comunicada desde Chiquinquirá, Simijaca y Guachetá (Cundinamarca). El poblado fue fundado en 1915 y reconocido como municipio en el año de 1960, donde hasta esa fecha fue considerado corregimiento del municipio de Chiquinquirá (Alcaldía San Miguel de Sema, 2012).

**Imagen 2.** *Ubicación de San Miguel de Sema en Boyacá*



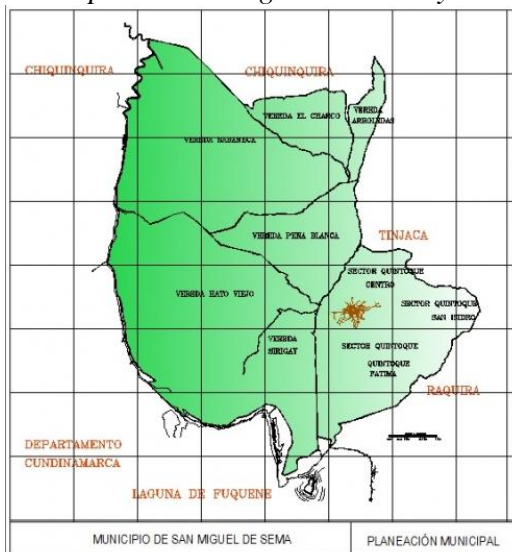
**Fuente:** (Alcaldía San Miguel de Sema, 2012)



El municipio de San Miguel de Sema se encuentra enmarcado dentro de las coordenadas topográficas: Norte = 1.096.500 a 1.110.200., Este = 1.031.700 a 1.043.300. Está localizado a 5° 31' 15" de latitud norte y a los 73° 43' 39" al oeste del meridiano de Greenwich.

El municipio de San Miguel de Sema posee una extensión de 90 km cuadrados; representados en 9.044 hectáreas, de las cuales 9.023 corresponden a la parte rural y 21 al área urbana, es decir, el 99,77% es área rural y El 0,23% es zona urbana (POT, 2011).

**Imagen 3.** Mapa de San Miguel de Sema y limitaciones.



**Fuente:** (Alcaldía San Miguel de Sema, 2012)

El municipio está dividido en dos sub zonas, desde el punto de vista del uso del suelo, la zona de montaña donde predomina la agricultura campesina y la zona del valle de Ubaté - Chiquinquirá utilizada en su totalidad para uso ganadero donde predomina la producción lechera. En esta zona se encuentra la vereda Sabaneca **Imagen 4.**

#### 6.1.3. Ubicación de vereda de Sabaneca

Sabaneca es la vereda más grande del municipio, se encuentra ubicada la Institución Educativa Sabaneca, fusionada a la Institución Educativa del Charco. Limita por el oriente con las veredas El Charco, Arboledas y Peña Blanca, al occidente con el río Suárez, por el norte con el municipio de Chiquinquirá y por el sur con la vereda Hato Viejo. En la **Imagen 4** se muestra la ubicación exacta de la vereda Sabaneca, encerrada en un círculo rojo y la cruz roja indica donde la ubicación de Hacienda la Trinidad. (Alcaldía San Miguel de Sema, 2012).

**Imagen 4.** Ubicación la vereda Sabaneca



**Fuente:** (Google Maps, 2018)

**Figura 1.** Vereda Sabaneca y sus limitaciones.



**Fuente:** (Alcaldía San Miguel de Sema, 2012)

#### 6.1.4. Energías del sector

El cubrimiento en la parte urbana, actualmente es del 100%, con base en la opinión generalizada de la comunidad y de los usuarios directos del servicio. Se puede decir que el suministro del fluido eléctrico es bueno, pero en ocasiones se presentan cortes, debido a oscilaciones del voltaje. (POT, Esquema de ordenamiento territorial municipio de San Miguel de Sema, 2011)

En el sector rural todas las veredas tienen electrificación con un cubrimiento aproximado del 90%. (POT, Plan de Desarrollo 2004 – 2007 Identidad, Honestidad y Trabajo para mejorar Calidad de Vida, 2004-2007).

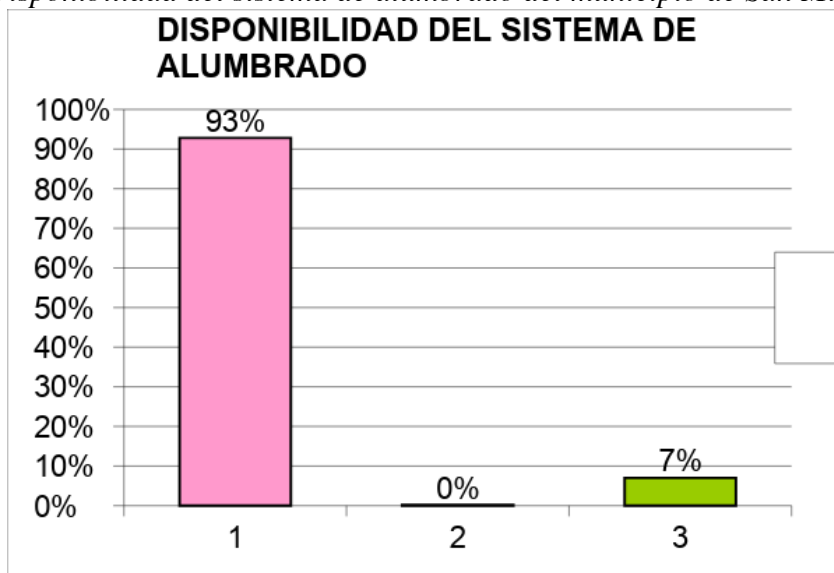
**Tabla 3.** Disponibilidad del sistema de alumbrado por vereda del municipio San Miguel

DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA DE ALUMBRADO				
Vereda	Eléctrico	Kerosene, petróleo, Gasol	Vela u otro	Total
Sabaneca	153	1	20	174
El Charco	66	0	9	75
Arboledas	23	0	1	24
Peña Blanca	82	0	3	85
Hato Viejo	188	0	7	195
Urbano	144	0	2	146
Quintoque	184	1	19	204
Sirigay	74	0	8	82
<b>Totales</b>	914	2	69	985
<b>Porcentajes</b>	93%	0%	7%	100%

**Fuente:** (POT, Plan de Desarrollo 2004 – 2007 identidad, honestidad y trabajo para mejorar calidad de vida, 2004-2007)

\*Fichas aplicadas entre el 01/01/94 y el 02/02/99

**Gráfica 2.** Disponibilidad del sistema de alumbrado del municipio de San Miguel de Sema



**Fuente:** (POT, Plan de Desarrollo 2004 – 2007 identidad, honestidad y trabajo para mejorar calidad de vida, 2004-2007)

## 6.2. *Perspectiva teórica*

### 6.2.1. *Estado del arte*

En este inciso se pretende generar un desarrollo de análisis de algunos trabajos que se han venido desarrollando en el tema de energías alternativas más específicamente en energía fotovoltaica. Esto con el fin de conocer y entender qué se ha desarrollado en otros países que se pueda aplicar en la zona de estudio.

A **nivel global**, se encontraron diferentes artículos que desarrollan proyectos con energía fotovoltaica, en este caso los autores Rafael López, Juan Martínez, Juan Reza y Rosendo Ruiz proponen como título a la investigación “*Feasibility analysis and irrigation management in Mediterranean greenhouses using photovoltaic solar energy*” donde indican que en la provincia de Almería que se encuentra al sur de España, se realizaron sistemas de riego en cultivos de hortofrutícola en invernaderos con energías fotovoltaicas. Desarrollaron un modelo de simulación de riego usando energía solar, donde pretendían evaluar su rentabilidad económica y buscar su diseño óptimo. Después de implementar esta tecnología en los sistemas de riego obtuvieron que la rentabilidad económica del uso de la energía solar fotovoltaica es limitada, además no rentable para las explotaciones de invernaderos típicos de la zona. (Rafael López-Luque, 2017).

Por otro lado, se encontró un artículo titulado “*Feasibility study of grid connected photovoltaic system in family farms for electricity generation in rural areas*” el cual tiene como finalidad proponer un análisis de viabilidad de los sistemas de energía fotovoltaica conectados a la red en las granjas lecheras de Argelia. Según los autores el objetivo principal a desarrollar fue “*diseñar un sistema solar óptimo que satisfaga las necesidades eléctricas de las granjas para cada región argelina e investigar la viabilidad y el impacto de reemplazar los sistemas convencionales existentes con sistemas de energía solar*”. Para el desarrollo de los objetivos se limitaron a experimentar con granjas que no superaran las 30 vacas lecheras y analizaron el consumo eléctrico. Para esta cantidad de vacas se obtuvo que los requerimientos de energía promedio están entre 330 kWh/vaca/año y 560 kWh/vaca/año. Después de desarrollar la metodología obtuvieron que la electricidad producida es capaz de lograr el balance energético entre la generación fotovoltaica pronosticada y la demanda de energía agrícola. (T. Nacer, 2016)

En los últimos años este tema ha sido de gran interés a **nivel regional** y existen buenos insumos de información acerca de la generación de energía fotovoltaica para la producción más limpia. En Brasil se han adelantado importantes estudios que en el análisis pueden proveer contextos y elementos a tener en cuenta. En el estudio titulado “*Energía solar fotovoltaica pode crescer mais de 300% até o fim do ano, diz setor*” realizado por Cristina Indio (2017) evalúa la generación de energía eléctrica según un plan piloto de una guardería, para su estudio se tienen en cuenta diferentes indicadores, tales como los generadores principales y la cantidad de energía eléctrica producida, a partir de esto se implementaron los paneles solares donde la economía se vio beneficiada y el dinero que ya no usaban en energía eléctrica fue destinado a la infraestructura de la guardería. Además, se tuvo en cuenta el uso de energía fotovoltaica de uso rural y urbano, como en las estaciones del sistema del transporte que funcionan con paneles para evitar la interrupción en el tráfico en caso de que cortaran la energía eléctrica, donde se evidencia que el sector tuvo un crecimiento del 300% en un año sobre la reducción de energía eléctrica. (Indio, 2017).

Teniendo en cuenta que Chile es el país que lidera la energía solar en Latinoamérica y se ha destacado por un uso estratégico de la energía renovable en el sector agrícola, se encontró un caso de éxito en Chile llamado “*Irrigación con energía solar transforma agricultura en Chile*” publicado por la Revista Energía en 2015, quienes dicen que con la implementación de paneles solares se mejora la producción, diversificación de los cultivos y disminución de costos; esta podría ser la fórmula del éxito verde sostenible. La Fundación Chile también es otro buen ejemplo de aprovechamiento solar principalmente en la zona del Valle de Lluta, donde también desarrollan un proyecto piloto en el campamento minero de El Salvador en Atacama. La tecnología de desalinización a base de energía solar genera agua de calidad requerida para los procesos agrícolas con un bajo consumo energético. Donde se obtiene mayor cantidad de agua y energía, también se incrementa la cantidad y variedad de cultivos para los agricultores. A partir de lo anterior diversos proyectos están ayudando a la mejora de los procesos productivos de alimentos y además de ser una energía más barata, genera competitividad en la calidad de la producción (Revista Energía, 2015).

El aporte de este antecedente al presente trabajo de investigación se encuentra en que los sistemas fotovoltaicos chilenos, que se toman como ejemplos teóricos y prácticos para la realización del diseño basados en el estudio de caso Hacienda la Trinidad, siendo fuente de información confiable de tecnologías perfectamente desarrolladas en estructuras y condiciones similares y puntos de comparación en el momento de estudiar la eficiencia del sistema diseñado.

A **nivel local**, en Colombia se han resuelto investigaciones por universidades de diferentes regiones en torno al tema. La Pontificia Universidad Javeriana, en el Departamento de Estudios Ambientales y Rurales ha trabajado en temas de la energía fotovoltaica. Con el título de “*La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*”, de la autoría de Rafael Eduardo Ladino Peralta (2011). Indica que durante el estudio se recogieron los resultados en torno a las características sociales, ambientales, económicas y de política, con relación al uso de la energía fotovoltaica y su incidencia en el desarrollo rural. Se indica que el total de energía anual generada por los sistemas fotovoltaicos es de 5642,4 kWh lo que equivale a 5,6424 MWh y se evita cada año la emisión de 0,875 toneladas de CO<sub>2</sub>, contribuyendo con la reducción del calentamiento global. Teniendo en cuenta lo anterior se dice que el sistema empleado en las veredas no está limitado para uso doméstico a nivel productivo en las fincas y faenas agrarias, debido que se verifica la relación costo-beneficio (Ladino, 2011).

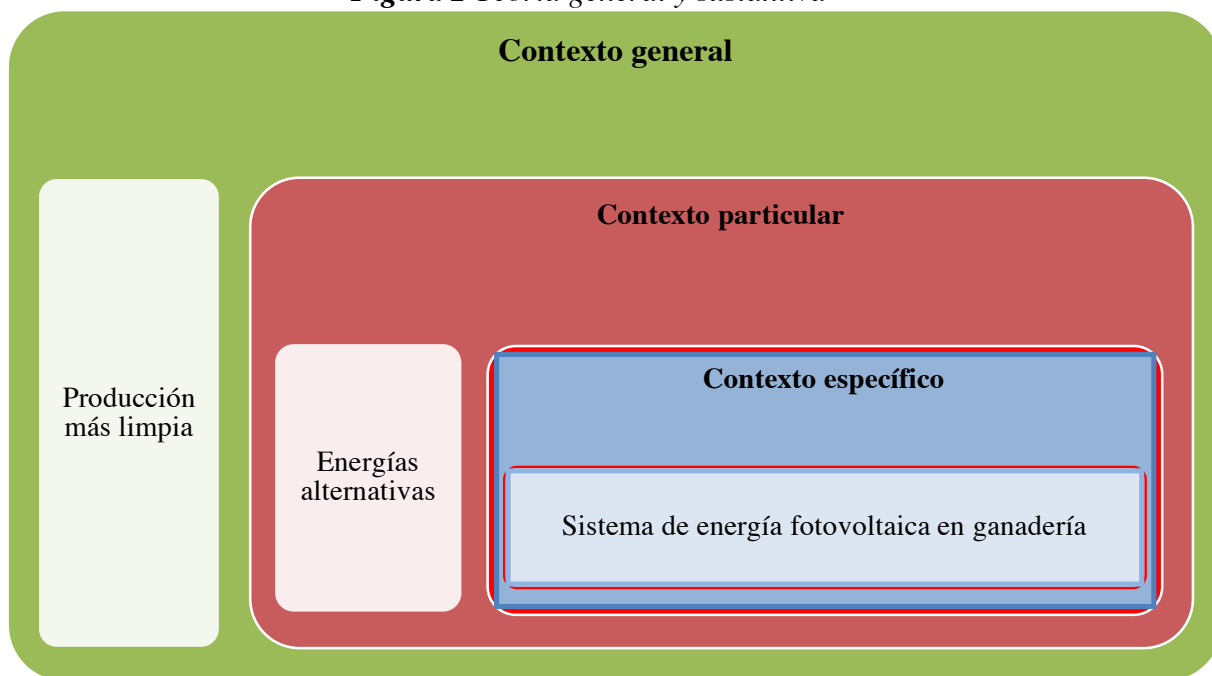
Otro caso encontrado se desarrolló en el departamento de Boyacá, el autor (Pérez, 2014) realizó un estudio llamado “*Evaluación de la oferta solar potencial para la producción de electricidad en zona rural del municipio de Sogamoso (Boyacá, Colombia)*”. Allí se llevó a cabo una evaluación del recurso solar potencial en las veredas Pilar y Ceibita, El Mortiñal y Las Cañas en el municipio de Sogamoso, Boyacá. Allí se encuentran 53 predios sin ningún tipo de cobertura eléctrica por parte de la empresa de servicios públicos de Boyacá (EBSA) y la Alcaldía Municipal. Por tal razón, se propuso identificar zonas potenciales para la instalación de micro-redes para suplir esta necesidad básica en pleno siglo XXI. El análisis integrado del paisaje y el análisis de costo-beneficio ambiental y social, se identificaron 15 micro-redes con un 100% de potencialidad muy alta para su instalación. Por último, se concluyó que la instalación de micro-redes de sistemas solares tiene grandes beneficios como la reducción de emisiones de gases de efectos invernadero puesto y la disminución en los costos por kW generado de forma colectiva contribuyendo a la producción más limpia.

Finalmente, en el municipio de Chiscas, ubicado en el departamento de Boyacá, la Alcaldía apoyó una iniciativa de energía renovable principalmente para 20 familias que habitan lejanas al casco urbano. Los campesinos con tan solo un panel, un conversor y una batería de almacenamiento ahora se benefician de la energía eléctrica, sin afectar el ambiente, recalcando que los mismos residentes veredales fueron quienes ensamblaron los paneles de este novedoso sistema. La alcaldía de Suescún informó que con este proyecto estarían reduciendo 900 gramos de CO<sub>2</sub> al año, es decir produciría 1,3 MW, gracias a la producción de energías limpias, mediante la instalación de estas plantas solares fotovoltaicas que tendrían una vida útil de 25 años. (Reyes, 2017).

### 6.2.2. Marco teórico conceptual

Para desarrollar los conceptos y su relevancia en el trabajo de grado en la **Figura 2** se muestra la estructura conceptual desde el eje orientador que es la producción más limpia, con el fin de extraer los contextos específicos, contextos particulares y contextos generales del trabajo.

**Figura 2** Teoría general y sustantiva



**Fuente:** Autores, 2018

Para empezar, es de gran importancia destacar que la base de este trabajo se encuentra en el concepto de **Producción más limpia** donde se puede definir como “contaminación industrial de manera preventiva” según el libro “Guía práctica y estudio de casos producción más limpia”, esta permite mejoras que minimizan o eliminan los residuos que se generan en el proceso productivo y se concentra principalmente en los productos y servicios, en la eficiencia y eficacia en el uso de la materia prima.

(Agencia de protección ambiental, Ministerio de ambiente y espacio público). Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) el concepto de producción más limpia se refiere a *“la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integral, a los procesos y producto, con el objetivo de reducir riesgos al ser humano y el ambiente”*.

Continuando con los conceptos necesarios para desarrollar el proyecto y que es de gran importancia mencionar en este caso. La demanda de **energía** y de servicios conexos, con miras al desarrollo social y económico y a la mejora del bienestar y la salud de las personas, va en aumento. Todas las sociedades necesitan de servicios energéticos para cubrir las necesidades humanas básicas (por ejemplo, de alumbrado, cocina, ambientación, movilidad y comunicación) y para los procesos productivos. Desde 1850, aproximadamente, la utilización de combustibles de origen fósil (carbón, petróleo y gas) en todo el mundo ha aumentado hasta convertirse en el suministro de energía predominante, situación que ha dado lugar a un rápido aumento de las emisiones del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). De esta manera en Colombia se ha incrementado la preocupación por abastecerse de energías renovables.

Las **energías renovables** son energías que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la gran cantidad de energía que contienen o por el hecho de que son capaces de regenerarse por condiciones naturales. Tienen las siguientes características:

- ✓ Son limpias, no generan residuos de difícil eliminación.
- ✓ Su impacto negativo ambiental es reducido.
- ✓ No producen emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- ✓ Se producen de forma continua por lo que son ilimitadas.
- ✓ Impulsan las economías locales con la creación de cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.
- ✓ Son una alternativa viable a las energías convencionales.

El origen de todas las energías renovables, provienen de fuentes naturales como el sol, el agua, el viento y los residuos orgánicos, aunque es sin duda el sol el motor generador de todos los ciclos que dan origen a las demás fuentes. (Innova, 2014)

El concepto de **energía solar** se refiere a la energía electromagnética emitida por el sol, que, al interactuar con la materia, dicha energía es transformada en otras formas de energía. Existen varios mecanismos naturales que transforman a la energía solar térmica y fotovoltaica en energía útil para el ser humano. Entre esos mecanismos se encuentran los físicos, los químicos y los biológicos. (Claudio A., Camilo A., 2010). Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica en esta última utilizando paneles solares.

La **energía solar fotovoltaica** es obtenida directamente de la luz del sol, la cual transforma la energía solar en electricidad, a través de unas láminas metálicas semiconductoras, llamadas células fotoeléctricas, más conocidas como paneles fotovoltaicos. (Claudio A., Camilo A., 2010).

A continuación, se presentará una de las tecnologías fotovoltaicas que aprovechan estos mecanismos para satisfacer necesidades energéticas humanas y que hoy en día son comerciales.

La **tecnología fotovoltaica** es, en la actualidad, la que tiene el más rápido crecimiento. Esta tecnología está basada en las celdas solares. Como se sabe, la forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce

una diferencia del voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil. (Salgado, 2015).

Según (Guerrero, 2012) el **panel solar** es el elemento principal de cualquier instalación de energía solar, el cual convierte la energía del sol en energía eléctrica, su funcionamiento se basa por convertir directamente a electricidad la energía proveniente de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en un panel fotovoltaico la producción de corriente depende de la irradiación (nivel de iluminación), de tal forma que a medida que aumenta la irradiación, aumenta la intensidad a través de la célula, de esta forma contribuyendo a la producción más limpia.

Un concepto que es importante mencionar dado que, los procesos de producción más limpia, tienen como prioridad la **eficacia y eficiencia** para el uso de materia prima. Por esto, el autor Matías Riquelme mencionó que la **eficiencia** es la productividad, que mide la rapidez con que alguien pueda hacer una tarea. Tiene que ver mucho con el concepto de “ser eficiente”, es decir producir lo mismo con menos recursos y la **eficiencia** según el mismo autor se refiere a un nivel de rendimiento de un proceso el cual utiliza la menor cantidad de entradas o insumos para crear la mayor cantidad de productos o resultados. La eficiencia se relaciona con el uso de todos los insumos en la producción de cualquier producto, incluyendo el tiempo y la energía (Riquelme, 2016).

También es de gran importancia destacar el concepto de **ganadería lechera** que es expuesta en el presente trabajo, la cual se refiere a los bovinos que son capaces de producir leche en gran cantidad, el objetivo de la producción lechera es desencadenar la mayor cantidad de litros de leche de buena calidad por hectárea al menor costo posible, la producción de leche tiene un enorme potencial (Márquez, 2012). Para extraer la leche de las vacas se están usando en algunas fincas las **máquinas de ordeño** la cual se define como un sistema que utiliza una combinación de presión negativa y masaje del pezón para extraer la leche de forma eficiente (Esmin, 2011).

## 7. Marco legal

En este documento, se formuló un sistema de energía solar fotovoltaica en el sector ganadero, más específicamente en el del ordeño mecánico, donde se realizó el diseño de dicho proceso por medio de máquinas que funcionan con paneles solares.

Haciendo una investigación, sobre la importancia de implementar estas energías renovables en los procesos productivos del país se debe tener en cuenta que Colombia se sumó al **Protocolo de Kioto** el cual se define como una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático esto se expone en la **Ley 629 de 2000**. Donde tiene como objetivo reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), por lo cual las energías renovables se convirtieron en una opción estratégica para Colombia. Por esto se va a tener en cuenta un marco normativo del país con el fin de incrementar el valor hacia la implementación de energías renovables para los procesos productivos como en este caso se indica. (BioEnergía (Iniciativa Cluster), 2016)

Así mismo, la **Ley 697 del 3 de octubre de 2001** “*Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones*”. En la cual se resalta el uso racional y eficiente de la energía como un asunto que se debe llevar a cabo en el país, esta ley fue de gran importancia destacarla en el proyecto que se desarrolló, ya que como se mencionó anteriormente se pretende implementar un sistema de producción más limpia con



energía solar fotovoltaica, el cual liberaría muchos impactos que están siendo generados en el presente por este procedimiento de ordeño mecánico con máquinas convencionales, que hacen un uso excesivo de energía. En el **Artículo 4 de la Ley 697 de 2001**, se indica que el responsable de promover, organizar, asegurar desarrollo y el seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía es el Ministerio de Minas y Energía. Para esta misma ley es importante destacar el **Artículo 10** donde se pretende diseñar, incentivar y promover a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales. (Congreso de Colombia, 2001)

De igual forma es importante destacar que Colombia aprobó el estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables, IRENA (Bonn, Alemania, 26 de enero de 2009), la cual se expone en la **Ley 1665 de 2013**, ésta promueve el uso sostenible de las energías renovables. (Congreso de la República, 2013)

La **Ley 1715 de 2014**, es importante destacar ya que esta regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional (SUNCOLOMBIA, 2016), mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Para el proyecto a realizar es importante destacar esta ley ya que como se mencionó anteriormente, se quiere formular el proyecto en una hacienda donde la conexión con los servicios públicos es un poco difícil, dado a su ubicación geográfica, entonces al optar por energías alternativas se estaría evitando un uso inadecuado del recurso o incremento de inversión para mano de obra. (Congreso de la República, 2014)

Después de referirse a la normatividad sobre el uso de energías renovables, se pretende destacar algún marco normativo sobre el bienestar del animal y en qué condiciones debe hacerse este tipo de proyectos. Para esto es pertinente destacar el **Decreto 616 del 28 de febrero de 2006**, en el **Título II, Capítulo II, Artículo 5, numeral a**, donde hace alusión a las condiciones que debe tener los hatos productores de leche. Los sitios o áreas de ordeño mecánico deben tener un establo fijo con piso en cemento o establo portátil, localizados sobre un terreno de fácil drenaje, que permita realizar un ordeño en buenas condiciones sanitarias. Además, es indispensable disponer de agua abundante potable o de fácil potabilización que no deteriore o altere el producto final (leche), deben contar con los procedimientos de limpieza, desinfección y mantenimiento debidamente establecidos y documentados (Ministerio de la Protección Social, 2006).

Por último, mientras se realizó el trabajo investigativo fue publicado el **Decreto 0570 del 23 de marzo de 2018** por el Ministerio de Minas y Energía, el cual tiene como objetivo principal establecer los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación a largo plazo para los proyectos de generación de energía eléctrica y que sea complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista. Fue de gran importancia este Decreto destacarlo en el trabajo presentado ya que pretende fortalecer la generación de energía eléctrica ante eventos de variabilidad y cambio climático a través de la diversificación del riesgo. Además, promueve la competencia y aumenta la formación de proyectos de energía eléctrica nuevos y/o existentes. Por último, fomenta el desarrollo económico sostenible y pretende fortalecer la seguridad energética regional reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero del sector con los compromisos adquiridos por Colombia en la Cumbre Mundial de Cambio Climático en París (COP21). (Ministerio de Minas y Energía, 2018)

### 8. Relación con el área y línea de investigación de la Facultad

La línea de investigación de la Facultad por la cual se encontró encaminada la investigación es *Gestión para el desarrollo urbano y rural y mejoramiento de la calidad de vida*, pues se buscó mejorar las condiciones energéticas de Hacienda la Trinidad, en la cual se evidenció problemáticas de calidad del sistema energético presente en la zona, las cuales dificultan las actividades productivas cotidianas.

### 9. Metodología

#### 9.1. Diseño de la investigación

Para cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados en el proyecto, que consiste en realizar una propuesta de un sistema de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante energías fotovoltaicas, más exactamente en la Hacienda la Trinidad, se diseñó una metodología con base en los tres objetivos específicos y con ello la determinación de variables que son de gran importancia para el desarrollo de los mismos, como lo son el número de cabezas de ganado a ordeñar, consumo eléctrico por parte de las máquinas ordeñadoras teniendo en cuenta el sistema actual de alimentación a las máquinas, radiación solar estándar en la vereda de Sabaneca, entre otras.

*Tabla 4. Diseño metodológico*

	FASE I	FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1	Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.	Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente a el sistema fotovoltaico para la industria lechera.	Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.
<b>Enfoque</b>	La presente investigación tiene un <b>enfoque metodológico mixto</b> , donde se tuvo en cuenta la observación y evaluación de fenómenos como el uso de energías alternativas, es mixto ya que se expondrán técnicas cuantitativas de recolección y análisis de datos, para de esta forma dar respuesta a preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente donde se tendrán en cuenta casos exitosos ya expuestos sobre el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica, se analizaron datos estadísticos, costos de maquinarias, etc. Además, se utilizaron técnicas cualitativas ya que se hizo recolección de datos sin medición numérica, como el análisis documental de casos exitosos encontrados sobre el tema y donde se realizaron comparaciones con otras energías alternativas. El enfoque se emplea para la realización de actividades con la comunidad, la formulación de estrategias de producción más limpia para de esta forma promover una ganadería sostenible.		

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváz Vanegas

	<b>FASE I</b>	<b>FASE II</b>	<b>FASE III</b>
	<b>Objetivo Específico 1</b>	<b>Objetivo Específico 2</b>	<b>Objetivo Específico 3</b>
	Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.	Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente a el sistema fotovoltaico para la industria lechera.	Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.
<b>Alcance</b>	En la primera etapa del proyecto el <b>alcance es descriptivo</b> debido a que se busca caracterizar los antecedentes que tiene la región con referencia al sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.	Para este objetivo se puede decir que el <b>alcance es descriptivo</b> ya que se buscó especificar las prácticas de ordeño que se están haciendo en el momento en la zona de estudio con el fin de analizar y comparar con informes teóricos y casos exitosos de aplicación de energías alternativas en zonas de características similares. Además, se realizó un esquema donde se compararon las ventajas y desventajas del uso de energías alternativas diferentes a la expuesta en el trabajo. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se cita el artículo de "Metodología de investigación" de Sampieri, ya que este define dicho enfoque como la búsqueda específica de propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describiendo en este caso diferentes energías alternativas (Sampieri, 2010).	En la última etapa del proyecto el <b>alcance es descriptivo</b> debido a que, por medio de la información recolectada durante la primera y segunda etapa sobre la producción ganadera en el sector lechero, busca especificar procesos para tener como resultado el diseño de un sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso.
<b>Unidad de Análisis</b>	La <b>unidad de análisis</b> en una hacienda ganadera de producción lechera a la cual se le pretende implementar producción más limpia a través de la implementación de un sistema de producción de energía fotovoltaica en el territorio de la vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema - Chiquinquirá, Boyacá el cual está definido por las coordenadas 5°33'05" N 73°45'51" W 3 Km.		

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváz Vanegas

	FASE I		FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1		Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.		Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente a el sistema fotovoltaico para la industria lechera.	Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.
<b>Informantes</b>	Teniendo en cuenta que la metodología es mixta. Grinnell (1997), citado por Hernández et al (2003:5) señala que los dos enfoques (cuantitativo y cualitativo) utilizan cinco fases similares y relacionadas entre sí: a) Llevan a cabo observación y evaluación de fenómenos. b) Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas. c) Prueban y demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento. d) Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis) Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar, cimentar y/o fundamentar las suposiciones o ideas; o incluso para generar otras. Ya que la metodología del presente proyecto es cualitativa y cuantitativa con fue mencionado anteriormente, según Hernández Sampieri, Fernández Callado, & Baptista (2010), este tipo de muestras son usadas en investigaciones cualitativas, donde el objetivo de la muestra es la riqueza, calidad y profundidad de la información otorgada por la muestra. Es por esta razón que la muestra utilizada en la metodología les otorga a los autores la información necesaria para suplir las necesidades de la fase metodológica del proyecto. Para el proyecto, se tiene una muestra de la Hacienda la Trinidad.			
<b>Recolección de información</b>	<b>Técnicas</b>	Observación en campo; revisión cartográfica; Revisión documental (POT de San Miguel de Sema); análisis de los diferentes planes municipales.	Análisis documental de casos exitosos donde han implementado energías alternativas, esto con el fin de realizar comparación con la usada en este caso.	Revisión bibliográfica. Síntesis de resultados de Fase I y II
	<b>Instrumentos</b>	Registro de observación mediante bitácora de campo y registro fotográfico y GPS; Google Earth, formato con preguntas para obtener la información de producción lechera con la comunidad. Alcaldía de San Miguel de Sema.	Libros, artículos, noticias y revistas que hablan del tema.	Alcaldía de San Miguel, CAR, Internet, Planeación de San Miguel de Sema, documentos y artículos. Diagrama de síntesis de resultados.

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

	FASE I		FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1		Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.		Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente a el sistema fotovoltaico para la industria lechera.	Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.
Organización, sistematización y análisis	Técnicas	Mapas temáticos Árbol de problemas	Análisis según consulta de documentos energías alternativas, producción lechera con fuentes de energías sostenibles y prácticas de producción más limpia en municipios.	Análisis según consulta de documentos del municipio, y fuentes como el documento instalación y operación celdas fotovoltaicas zonas no interconectadas del departamento nacional de planeación. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha técnica Sunny Boy 700US</li> <li>• Estándar IEEE 929-200</li> <li>• Ficha Técnica Panel Solar DUOMAX TSM-PEG14</li> </ul>
	Instrumentos	Sistema de Información Geográfica – SIG Excel		Análisis según consulta de documentos del municipio, y fuentes como el documento instalación y operación celdas fotovoltaicas zonas no interconectadas del departamento nacional de planeación.
Interpretación	Técnicas	POT San Miguel de Sema	Análisis según consulta de documentos del municipio, y fuentes como el documento instalación y operación celdas fotovoltaicas zonas no interconectadas del departamento nacional de planeación.	
	Instrumentos	Sistema de Información Geográfica – SIG Registro fotográfico		

**Fuente:** Autores, 2018

9.1.1. Enfoque metodológico

El enfoque metodológico para esta investigación hace uso tanto de la observación y evaluación puesto que se analiza desde varias perspectivas como lo es la económica, social y por supuesto lo ambiental. Este enfoque es considerado mixto ya que se desarrollan técnicas cuantitativas de recolección (relacionando

variables como número de cabezas de ganado a ordeñar y consumo eléctrico de las máquinas ordeñadoras) y su respectivo análisis para dar respuesta a la pregunta de investigación y probar la hipótesis establecida de acuerdo a experiencias documentadas sobre el diseño de sistemas fotovoltaico como fuentes alternativas de energía, y su interpretación de resultados analizando datos estadísticos y costos relacionados al funcionamiento de los equipos. Además, se utilizaron técnicas cualitativas ya que se hizo recolección de datos sin medición numérica, como el análisis documental de casos exitosos encontrados sobre el tema y donde se realizaron comparaciones con otras energías alternativas. El enfoque se emplea para la realización de actividades con la comunidad, la formulación de estrategias de producción más limpia, para de esta forma promover una ganadería sostenible.

### 9.1.2. Alcance de la investigación

#### 9.1.2.1. Objetivo específico 1

En esta primera etapa, el alcance fue descriptivo, donde se desarrolló la caracterización económica, social y ambiental del sistema convencional de producción de leche en la Hacienda la Trinidad, se obtuvo un diagnóstico completo teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Económico
  - La información recogida en campo de la zona de estudio.
  - Costos asociados al consumo de energía eléctrica en la finca por el uso de los equipos de ordeño
- ✓ Social
  - Generación de empleo por parte de la hacienda.
  - Últimos dos planes municipales de San Miguel de Sema y su Plan de Ordenamiento Territorial.
- ✓ Ambiental
  - Principios de la producción más limpia para el sector de ganadería lechera.
  - Impactos ambientales por el uso de energías convencionales como eléctrica y por medio de plantas de ACPM.

#### 9.1.2.2. Objetivo específico 2

Para este objetivo, el alcance fue descriptivo, donde se especificaron tres tipos de fuentes de energía renovables (solar, eólica y biomasa) que podrían implementarse en las prácticas de ordeño para la zona de estudio, esto con el fin de analizar y comparar la aplicación de estas energías alternativas con el actual sistema convencional que la finca desarrolla. Para ello se realizó un esquema donde se compararon las ventajas y desventajas del uso de estas energías alternativas. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se cita el artículo de "Metodología de investigación" de Sampieri, ya que este define dicho enfoque como la búsqueda específica de propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describiendo en este caso diferentes energías alternativas (Sampieri, 2010).

9.1.2.3. Objetivo específico 3

En la última etapa del proyecto a partir de la información recolectada durante la primera y segunda etapa sobre la producción ganadera en el sector lechero y la evaluación de las alternativas de energía renovable, se propuso el diseño de un sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso Hacienda la Trinidad. Esta etapa expuso todos los cálculos de diseño eléctrico que comprende el sistema fotovoltaico, y el plano correspondiente al sistema resultante.

9.1.3. Metodología de la investigación

La metodología de esta investigación es mixta, que corresponde a la combinación de los dos enfoques cualitativo y cuantitativo, metodología que incluye las mismas características de cada uno de ellos. Grinnell (1997) señala que los dos enfoques utilizan cinco fases similares y relacionadas entre sí: a) Llevan a cabo observación y evaluación de fenómenos. b) Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas. c) Prueban y demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento. d) Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis. e) Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar, cimentar y/o fundamentar las suposiciones o ideas; o incluso para generar otras.

Ya que la metodología del presente proyecto es cualitativa y cuantitativa el tipo de muestra es de caso, de acuerdo a Hernández Sampieri, Fernández Callado, & Baptista (2010), este tipo de muestras son usadas en investigaciones cualitativas, donde el objetivo de la muestra es la riqueza, calidad y profundidad de la información otorgada por la muestra. Es por esta razón que la muestra utilizada en la metodología les otorga a los autores la información necesaria para suplir las necesidades de la fase metodológica del proyecto. Para el proyecto, se tiene una muestra de la Hacienda la Trinidad y de acuerdo a las siguientes variables:

**Tabla 5. Variables de la investigación**

<b>Dimensión</b>	<b>Tema</b>	<b>Indicador</b>	<b>Medida</b>
Técnica	Proceso de ordeño	Número de cabezas de ganado a ordeñar	Cabezas de ganado a ordeñar
		Horario de ordeño	Hora
		Número de máquinas ordeñadora	Maquinas ordeñadoras
		Consumo de energía de maquinaria ordeñadora	kW/h
		Tiempo para ordeñar una cabeza de ganado	Duración en minutos

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Dimensión	Tema	Indicador	Medida
	Diseño fotovoltaico	Producción promedio de electricidad solar anual	kWh/año
		Factor de rendimiento del sistema	Porcentaje
		Características físicas y eléctricas de los módulos fotovoltaicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Voltaje</li> <li>✓ Corriente</li> <li>✓ Potencia</li> <li>✓ Área</li> <li>✓ Peso</li> <li>✓ Temperatura de uso</li> </ul>
Económica	Gastos operativos	Costos por consumo de energía eléctrica	Valor en pesos colombianos
		Mantenimiento de plantas auxiliares (ACPM)	Valor en pesos colombianos
		Gasto de ACPM en plantas auxiliares	Valor en pesos colombianos por volumen de ACPM
	Inversión	Costo de instalación de unidades para el aprovechamiento de energía renovable	Valor en pesos colombianos por unidad
Ambiental	Energía solar	Radiación estándar en vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá	Watts hora por metro cuadrado (Wh/m²).

**Fuente:** Autores, 2018

9.1.4. *Técnicas e instrumentos de recolección de análisis de información*

Para el **primer objetivo específico**, se utilizaron variables que describen el proceso de ordeño con el método actual, tales como, número de cabezas de ganado a ordeñar, las horas en las que se realiza el ordeño, cuantas veces al día se ordeña, número de máquinas ordeñadoras disponibles en la finca, tabla de especificaciones de las máquinas (consumo de energía y alimentación), tiempo necesario para ordeñar una cabeza de ganado, valor de la factura mensual correspondiente al servicio público de electricidad, valor de mantenimiento de plantas auxiliares y el gasto de ACPM de la misma. Con estos datos que son suministrados por el personal que maneja el ordeño en la finca y por los manuales de las máquinas



ordeñadoras utilizadas, además de la factura del servicio público de electricidad y la empresa prestadora del mismo.

Luego de contar con los datos necesarios para realizar el diagnóstico del sistema actual de ordeño, las técnicas para desarrollar dicho diagnóstico son cálculos de matemática básica y operaciones entre los factores o variables nombradas anteriormente, además se utilizó estadística para realizar un estimativo de consumo de energía y de tiempo.

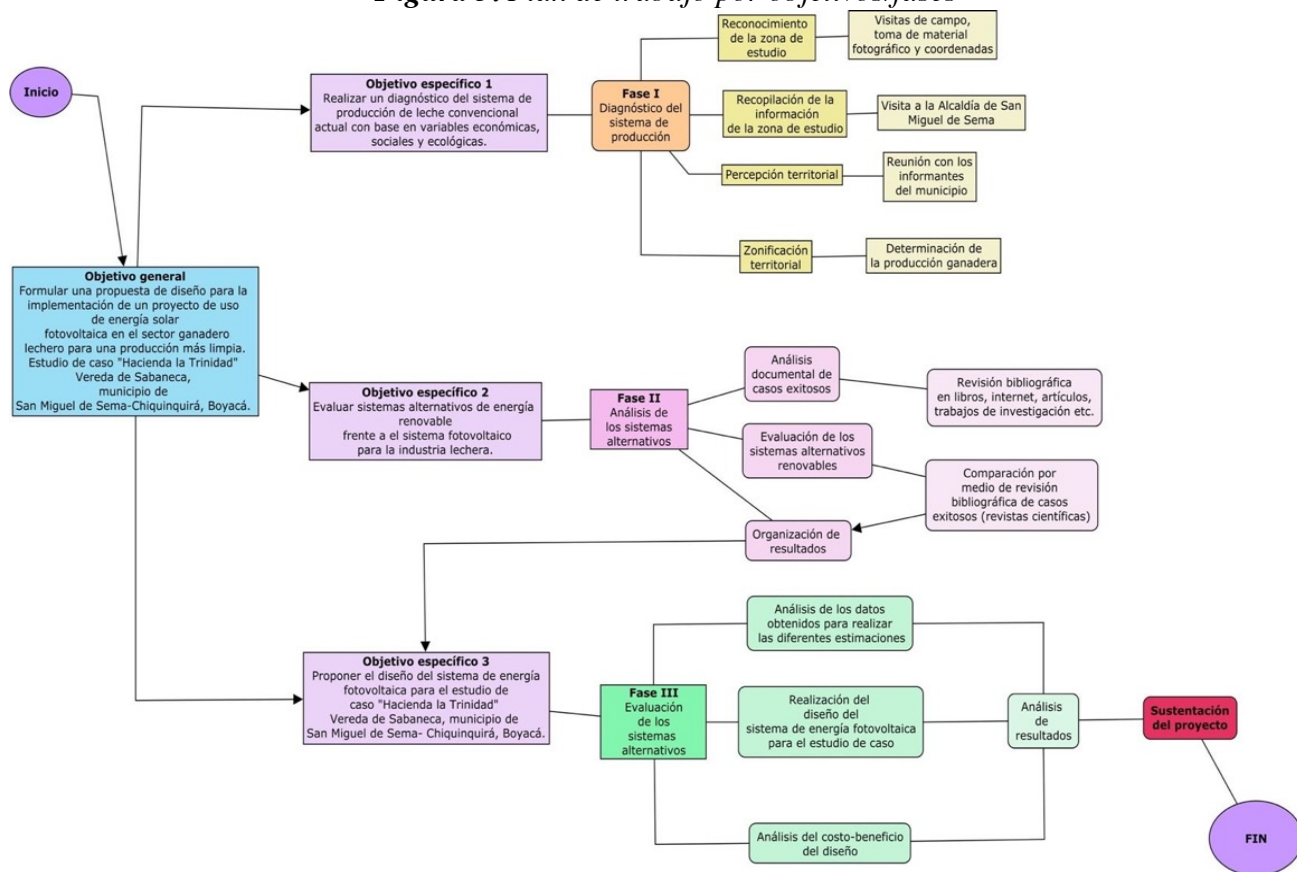
Para el **segundo objetivo específico**, que consiste en evaluar y comparar otro tipo de energías (convencionales y alternativas) con la de generación por paneles fotovoltaicos, es de importancia tener en cuenta el ámbito económico, social y ambiental. De este modo conocer datos como el costo del galón de ACPM, el valor de kWh en la factura del servicio de electricidad y costos de instalación y mantenimiento de fuentes de energías alternativas tales como la eólica y por supuesto la que es objetivo de estudio, la energía solar además del impacto ambiental que genera utilizar plantas que trabajan con combustible por la producción de gases de efecto invernadero en el proceso de generación de energía. Al contar con esta información se procedió a desarrollar un cuadro comparativo que mostró por qué la energía solar es la mejor opción para la industria ganadera lechera y más específicamente en la Hacienda la Trinidad.

Para el **tercer objetivo específico**, relacionado con el dimensionamiento del sistema de energía fotovoltaica para la Hacienda la Trinidad, se utilizaron datos tales como radiación estándar del lugar, suministrado por el IDEAM, producción promedio de electricidad solar anual en (kWh/m<sup>2</sup>-año) que es definida por el usuario (diagnóstico de consumo de energía de las máquinas ordeñadoras en un año), factor de rendimiento del sistema, características físicas y eléctricas de los módulos fotovoltaicos y en general de todos los instrumentos eléctricos a utilizar (hojas de datos suministradas por el fabricante), conocimiento de la norma IEEE 929-2000 en cuanto a calidad de potencia eléctrica. También, se utilizó un software para la realización de los planos con dimensiones reales del sistema fotovoltaico que se interconectará con la red eléctrica local.

#### 9.1.5. *Plan de trabajo*

El plan de trabajo a seguir, que se usó para llevar a cabo los objetivos específicos propuestos, se estructuró pensando en las tres diferentes fases del proyecto teniendo en cuenta el contexto social, espacial y temporal. De esta manera se realizó un diagnóstico del contexto social, económico y cultural que permitió definir la problemática que presenta la industria ganadera lechera para el ordeño más específicamente en Hacienda la Trinidad para realizar una etapa de ordeño más eficiente en cuanto a sistema de energía utilizado para las máquinas ordeñadoras, este plan de trabajo se explica en la **Figura 3**. a continuación.

**Figura 3. Plan de trabajo por objetivos/fases**

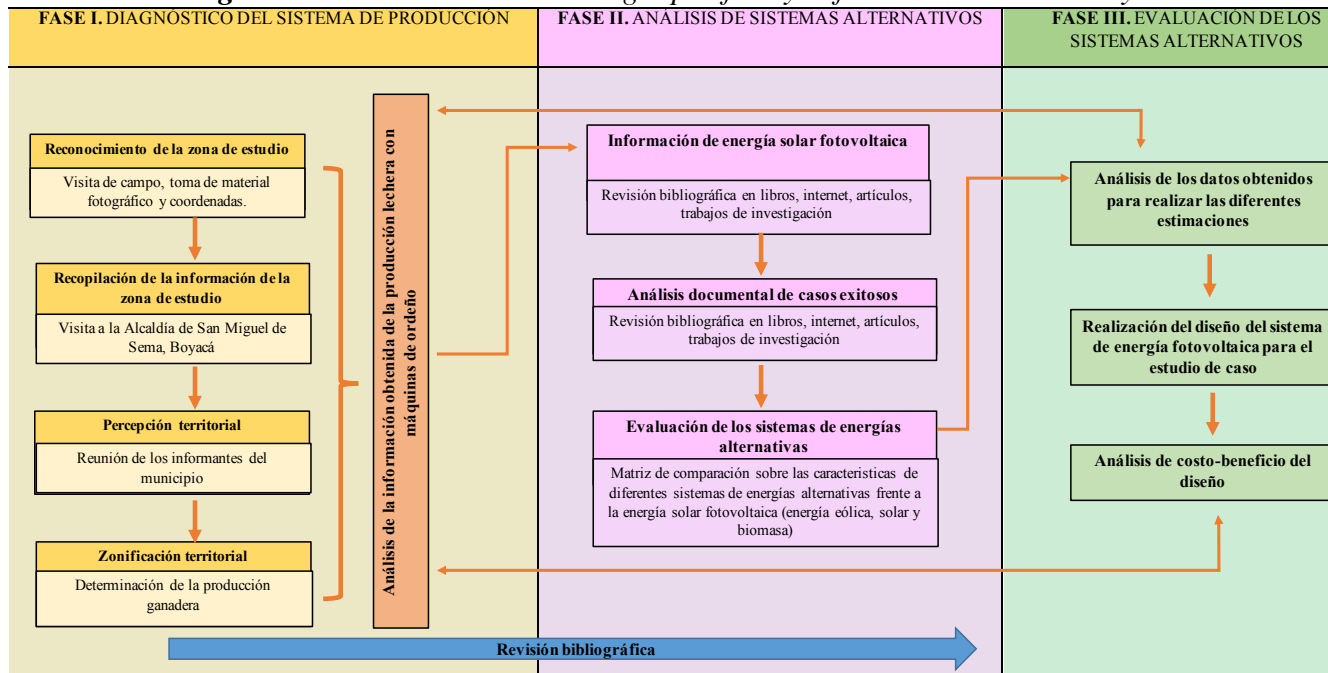


Fuente: Autores, 2018

9.1.6. Cuadro metodológico integración de objetivos (fases), metodología y resultados esperados por objetivo

A continuación, en la **Figura 4.** se muestra las tres fases de proyecto, que se corresponden con cada objetivo específico y que contiene la estructuración de los resultados el análisis y discusión.

**Figura 4. Estructura de metodología por fase y definición de resultados y análisis.**



**ESTRUCTURACIÓN DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.**

FASE I. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	FASE II. ANÁLISIS DE SISTEMAS ALTERNATIVOS	FASE III. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS ALTERNATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación geográfica de Hacienda la Trinidad (coordenadas, cartografía)</li> <li>• Datos suministrados por la Alcaldía de San Miguel de Sema sobre la producción lechera y el uso de energía para la vereda</li> <li>• Datos de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis documental de la literatura sobre la energía solar fotovoltaica.</li> <li>• Información de cada sistema de energía alternativa con los cuales se realizó la comparación.</li> <li>• Esquemas de comparación, analizando las ventajas, desventajas, aplicaciones y costos.</li> <li>• Explicación del porqué se escogió la energía solar fotovoltaica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos estimados para realizar el diseño del sistema de energía solar fotovoltaica</li> <li>• Cálculos de abastecimiento del sistema diseñado.</li> <li>• Diseño del sistema de energía solar fotovoltaica por medio de tablas, gráficas y figuras.</li> <li>• Análisis de costo-beneficio del diseño.</li> </ul>

**Fuente:** Autores, 2018

## 10. Resultados

### 10.1. *Objetivo específico 1*

**“Realizar un diagnóstico del sistema de producción de leche convencional actual con base en variables económicas, sociales y ecológicas.”**

#### 10.1.1. *Diagnóstico económico*

Hacienda la Trinidad cuenta con **300 cabezas** de ganado productoras de leche, **30 equipos** de ordeño con motor de marca Weizur, conectadas a la red eléctrica local o en su defecto a plantas auxiliares que trabajan con ACPM, esto ocurre cuando se produce un corte en el servicio de energía eléctrica. El tiempo de ordeño de cada vaca es aproximadamente **diez minutos** y se realizan **dos sesiones** de ordeño diarias programadas a las cinco de la mañana y a las tres de la tarde aproximadamente.

*Imagen 5. Ganado Vacuno de Hacienda la Trinidad.*



**Fuente:** Autores, 2018

Para calcular el tiempo en el que mantienen encendidos los equipos de ordeño se realizaron los siguientes cálculos:

$$\frac{300 \text{ cabezas de ganado}}{30 \text{ equipos de ordeño}} = 10 \text{ cabezas de ganado por cada equipo de ordeño (1)}$$

Esto quiere decir que, por cada sesión de ordeño, un equipo va a atender a 10 cabezas de ganado. Ahora el tiempo que dura en funcionamiento el equipo por día se obtuvo de la siguiente manera:

$$10 \text{ cabezas de ganado por cada equipo de ordeño} * 10 \text{ minutos} = 100 \text{ minutos (2)}$$

El tiempo que mantienen encendidos los equipos de ordeño es de 100 minutos aproximadamente, por cada sesión y como son dos sesiones de ordeño diarias el equipo se mantendrá en funcionamiento y consumiendo energía eléctrica durante **200 minutos aproximadamente (3,3 horas)**.

*Imagen 6. Equipos de ordeño en Hacienda la Trinidad.d*



**Fuente:** Autores, 2018

Para determinar el consumo del equipo, primero se revisó las especificaciones del mismo, las cuales se enunciaron en la siguiente tabla:

*Tabla 6. Especificaciones del motor que utiliza la máquina de ordeño marca Weizur*

MOTOR	BOMBA	POLIAS	RPM	TEMPERATURA
1CV	300 L	90/150A1	1030	80°C
0,736 kW	50 KPA			

**Fuente:** Autores, 2018

Se obtuvo como dato principal que son **0,736 kilovatios (kW)** de consumo del equipo, este consumo se multiplicó por el tiempo que duran en funcionamiento los equipos.

$$0,736 \text{ kW} * 3,3 \text{ horas} = 2,5 \text{ kWh}$$

**El consumo eléctrico diario es 2,5 kWh** en un equipo de ordeño, basta con multiplicar este valor por los 30 equipos de ordeño y obtenemos el valor total de kWh que consume el proceso de recolección de leche en Hacienda la Trinidad diariamente.

A partir de la información otorgada por EBSA (Empresa de energía de Boyacá S.A.E.S.P) acerca de las tarifas, al mes de febrero de 2018, el valor del kWh correspondiente al sector no residencial de la vereda Sabaneca del municipio de San Miguel de Sema en el departamento de Boyacá, es de **\$469** por kWh a

nivel de tensión 1. Con este valor se procedió a estimar un gasto promedio en pesos que producen los equipos de ordeño diariamente, mensualmente y anualmente.

**Tabla 7.** Consumo en kWh y en pesos del proceso de recolección de leche en la Trinidad.

	Diario	Mensual	Anual
Consumo en kWh	73,6 kWh	2208 kWh	26.867 kWh
Consumo en pesos	\$34.516	\$1'035.468	\$12'598.194

**Fuente:** Autores, 2018

Cabe aclarar que el costo de la factura del servicio eléctrico tendrá valores más altos que los expuestos en la tabla anterior, ya que estos cálculos solo están enfocados en los equipos de ordeño y el proceso de recolección de leche que es el objetivo principal de análisis de la investigación, además que, estos datos son hallados con promedios de consumo con base a las especificaciones de la máquina.

**Imagen 7.** Proceso de ordeño de una cabeza de ganado Hacienda la Trinidad.



**Fuente:** Autores, 2018

### 10.1.2. Diagnóstico social

- Planes de desarrollo San Miguel de Sema y Plan de Ordenamiento Territorial.

El municipio de San Miguel de Sema tiene pensado hacia el futuro la consolidación del desarrollo sostenible y sustentable, siempre y cuando se satisfagan las necesidades básicas, apoyándose en el ámbito socio-económico con mayores y mejores oportunidades en la actividad generadora de ingresos, creciendo competitivamente a nivel de provincia y región, manteniéndose como potencia de la producción lechera a nivel departamental.

Las vías que comunican a San Miguel con Capellanía y con Simijaca, salida hacia Bogotá, son importantes porque atraviesan una zona rural muy productora de leche. Estas carreteras se encuentran en regular estado, afectando esto, el transporte de leche y su comercialización. (Municipio San Miguel de Sema, 2000).

El municipio cuenta con la producción lechera como actividad exportadora, generadora de ingresos y soporte económico para la generación de empleo. La producción lechera se convierte en el principal núcleo de desarrollo del municipio y como problemática se tiene que es casi el único medio de inserción del mismo en la comunidad departamental, así que socialmente la producción ganadera lechera se convierte en un pilar de sostenimiento para la comunidad del municipio de San Miguel de Sema (Municipio San Miguel de Sema, 2000).

Para la infancia y adolescencia en el municipio se crea la necesidad de realizar actividades de inspección, vigilancia y control sanitario con relación a la calidad de la leche que consumen los niños y adolescentes en el municipio, así como en los restaurantes del mismo.

En el municipio se programan permanentemente capacitaciones dirigidas a la implementación de las buenas prácticas ganaderas en las fincas productoras de leche.

**Imagen 8.** Hacienda la Trinidad, municipio de San Miguel de Sema - Boyacá.



**Fuente:** Autores, 2018

### 10.1.3. Diagnóstico ambiental

- Producción más limpia

La producción más limpia consiste según Cáceres (2012) en plantear estrategias preventivas para reducir total o parcialmente las emisiones contaminantes, optimizar los procesos de producción y la reutilización, reciclaje y darle un alto valor a los residuos o subproductos resultantes de la producción. De esta manera llevar a cabo una producción más limpia en el sector ganadero lechero de San Miguel de Sema y más exactamente en la Hacienda la Trinidad, que refleja en un menor impacto ambiental, menor cantidad de emisiones (causadas por plantas auxiliares que trabajan con ACPM en la hacienda), darles uso a los subproductos, ahorro de agua y energía (diseño de panel fotovoltaico como energía alternativa a la de la red local).

Para la industria láctea se ha identificado que las alternativas de producción más limpia, están relacionados con la infraestructura, donde se realizan las actividades operativas y con el manejo y valoración de los residuos generados durante el desarrollo de la actividad productiva (Garzón y López, 2008).

Una forma de tener una producción más limpia es utilizando las energías renovables en paralelo con la red local o suprimiendo totalmente la energía convencional. Los paneles fotovoltaicos son un sistema de

captación de energía solar y el objetivo de esta investigación es proponer un diseño de este tipo de sistemas para la utilización de equipos de ordeño de manera más limpia en hacienda.

Los sistemas de captación de energía solar son una fuente eficiente para la disminución de los costos operacionales por concepto de energía eléctrica en una explotación pecuaria, así como también de la huella de carbono que genera (Hernández, Rodríguez, Badilla y Ulloa, 2016). Además, por medio de esta tecnología se contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, es necesario confirmar estos resultados con aquellos que se obtengan en otras explotaciones agropecuarias.

Hasta llegar a su uso final, la energía eléctrica pasa por numerosas fases en cada una de las cuales se acometen actividades con un potencial impacto sobre el entorno. Cabe distinguir entre aquellos impactos que tienen consecuencias a escala global sobre el planeta y aquellos impactos que dejan huella sobre su entorno más inmediato, condicionando de forma más directa la vida de los ciudadanos. En este caso los habitantes del municipio de San Miguel de Sema- Boyacá y concretamente en la “Hacienda La Trinidad”

El día a día de la producción y distribución de energía eléctrica requiere de una serie de actividades que conllevan una serie de impactos en el ámbito local con los consecuentes efectos sobre su entorno más inmediato. La generación de residuos, los vertidos a cauces próximos, el ruido, los campos electromagnéticos, el impacto visual, etc.

- Impactos ambientales por el uso de energías convencionales (plantas de ACPM).

Las plantas de ACPM trabajan con un motor térmico de combustión interna alternativa que se produce por la autoignición del combustible, debido a las altas temperaturas derivadas de la alta relación de compresión que posee, según el principio del ciclo del ACPM (González, Kafarov, y Guzmán, 2009), este tipo de motores al realizar combustión generan una serie de emisiones atmosféricas que afectan con gran impacto el ambiente en donde se encuentran activos. A continuación, una breve descripción de cada uno de los gases productos de la combustión de ACPM, que son esbozados en el trabajo Chamarravi y Saavedra (2013).

✓ **Monóxido de carbono (CO):** Es un gas inodoro, incoloro, altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. es producido cuando el motor no hace el proceso de combustión completamente. Se produce cuando se queman materiales combustibles como el ACPM. Estas emisiones contribuyen significativamente a la contaminación del aire, los tóxicos del aire y gases de efecto invernadero.

✓ **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Es un gas no inflamable, inodoro, incoloro, gas de efecto invernadero ligeramente ácido, es aproximadamente 11.5 veces más pesado que el aire, es un asfixiante simple, se producen síntomas sólo cuando su concentración es tan alta que desplaza el oxígeno que se necesita para soportar la vida, se puede estar expuesto a una concentración del 10% de CO<sub>2</sub> durante pocos minutos sin que tenga consecuencia. Entre 12% y 15% causa inconsciencia rápidamente, 25% de concentración puede causar la muerte después de varias horas de exposición. Este tipo de gas es producido cuando el proceso de combustión realizado por el motor se completa, dando como resultado Dióxido de carbono y agua.

✓ **NOx:** Es la combinación entre el oxígeno y el nitrógeno, es producto de la combustión a altas temperaturas, es un gas que en concentraciones elevadas puede causar la muerte en el ser humano.



✓ **Óxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** El óxido de azufre es un gas incoloro con un característico olor asfixiante. En agua se disuelve formando una disolución ácida (lluvia ácida), y va ligado a la calidad del ACPM obtenido por destilación.

✓ **Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):** El óxido de nitrógeno, es un compuesto químico de color marrón o amarillento, se forma como subproducto en los procesos de combustión de las plantas eléctricas utilizadas en Hacienda la Trinidad en el momento que la red local no trabaje de la manera esperada.

✓ **PM<sub>10</sub>:** Material particulado sólido o líquido de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 micrómetros, asociado a partículas de carbono (hollín). Las PM<sub>10</sub> al ser inhaladas y al penetrar con facilidad a las vías respiratorias, causan efectos nocivos en la salud de las personas, específicamente en el sistema respiratorio. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar constituidas por elementos más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos), estas partículas producen cáncer.

✓ **PM<sub>2,5</sub>:** Material particulado que representa partículas de menos de 2,5 micrómetros de diámetro aerodinámico.

✓ **HC:** Los hidrocarburos no quemados, son moléculas de combustible parcialmente oxidados. Estos gases se deben a que por algún factor se impide que la mezcla se quemara correctamente dentro de la cámara de combustión (bujías, demasiado avance del encendido o tiempo insuficiente del mismo, baja compresión, mezcla pobre, etc.). Las mezclas pobres (con exceso de oxígeno) provocan una velocidad de inflamación muy baja y por lo tanto no se produce una combustión correcta y por eso sale el combustible sin quemar (HC) por el escape.

Evidentemente el sistema actual de ordeño en Hacienda la Trinidad al utilizar como sistema auxiliar de alimentación eléctrica estas plantas que funcionan con ACPM generan un impacto ambiental con la emisión de estos gases, impacto que afecta de manera directa tanto a los trabajadores de Hacienda la Trinidad como a las cabezas de ganado y demás animales de la hacienda, como indirecta a la comunidad aledaña a la finca.

Para calcular las emisiones de gases producto del uso de combustibles fósiles tales como el ACPM existen unos factores de emisión y sus unidades varían según el tipo de combustible.

- Gas natural (m<sup>3</sup>)
- Gas butano (kg o número de bombonas)
- Gas propano (kg o número de bombonas)
- ACPM (litros)
- Fuel (kg)
- GLP genérico (kg)
- Carbón (kg) nacional y de importación
- Coque de petróleo (kg)

Los factores de conversión para transformar las unidades de masa o volumen en unidades de energía, según el tipo de combustible, que representan el valor calorífico de los combustibles son los siguientes:

**Tabla 8.** Factores de conversión para transformación de unidades de masa o volumen en unidades de energía

COMBUSTIBLE	FACTOR DE CONVERSIÓN
Gas natural (m <sup>3</sup> )	10,65 kWh/Nm <sup>3</sup> de gas natural
Gas butano (kg)	12,44 kWh/kg de gas butano
Gas propano (kg)	12,83 kWh/kg de gas propano
ACPM(litros)	11,78 kWh/kg de ACPM
Fuel (kg)	11,16 kWh/kg de fuel
GLP genérico (kg)	12,64 kWh/kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	5,70 kWh/kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	7,09 kWh/kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	9,03 kWh/kg de coque de petróleo

**Fuente:** (Generalitat de Catalunya, 2011)

Para calcular las misiones asociadas, debe aplicarse el factor de emisión que corresponda, de acuerdo con los datos siguientes:

**Tabla 9.** Factor de emisión de cada combustible.

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN
Gas natural (m <sup>3</sup> )	2,15 kg CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO <sub>2</sub> /kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg CO <sub>2</sub> /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO <sub>2</sub> /kg de gas propano 102,84 kg CO <sub>2</sub> /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg)
ACPM (litros)	2,79 kg CO <sub>2</sub> /l de ACPM
Fuel (kg)	3,05 kg CO <sub>2</sub> /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO <sub>2</sub> /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO <sub>2</sub> /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO <sub>2</sub> /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO <sub>2</sub> /kg de coque de petróleo

**Fuente:** (Generalitat de Catalunya, 2011)

Hacienda la Trinidad cuenta con un consumo de ACPM como combustible de las plantas auxiliares que trabajan en caso de falta parcial o total del fluido eléctrico para alimentar los equipos de ordeño de aproximadamente 1.000 litros/año. Por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por las plantas de ACPM en la hacienda, está dada por:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \left( 1.000 \frac{l}{año} \times 2,79 \frac{kg}{l} \right) = 2.790,00\ kg\ de\ \frac{CO_2}{año}$$

## 10.2. Objetivo específico 2

“Evaluar sistemas alternativos de energía renovable frente a el sistema fotovoltaico para la industria lechera.”

Un sistema de producción lechera utiliza una cantidad importante de energía, representada en forma de electricidad (red local) o el consumo de combustibles fósiles (plantas con motores de combustión interna). Al consumir esta clase de energías NO RENOVABLES se generan emisiones de dióxido de carbono, el cual contribuye a la acumulación de gases de efecto invernadero e incrementa la participación de la producción lechera en la contaminación atmosférica y la huella de carbono en la atmósfera.

El uso de la energía en el proceso de producción lechera se relaciona tanto de forma directa como indirecta. De manera directa mediante la movilización y el funcionamiento de la maquinaria al interior del predio e indirecta mediante el transporte de insumos desde fuera del predio hacia el interior. Además, se puede hacer una distinción entre la energía que se utiliza al interior del predio, para la producción de alimento y de leche, y la energía que se usa en actividades externas al predio, principalmente durante el procesamiento y el empaque de la leche, representando de manera aproximada los gastos productivos (al interior del predio) en un 40% del total de consumo energético, y las otras actividades un 20%. Las labores de limpieza por otro lado consumen cerca de un 10% de la energía invertida en el ciclo productivo, y la estructura y maquinarias utilizadas representan al 30% de energía restante (al exterior del predio) (Tecnoláctea, 2009).

Para analizar tenemos el gasto de energía directamente dentro del predio de Hacienda la Trinidad y más específicamente el gasto relacionado con el ordeño y el almacenamiento posterior de la leche que son los procesos que más consumen energía en la producción de leche, formando así parte del consumo eléctrico que puede llegar a ser un 25% del gasto energético no renovable en el proceso de producción. Se utiliza la electricidad para calentar el agua, para bombear la leche (equipos de ordeño), para enfriar la leche y para la iluminación de construcciones que lo requieran.

Vista esta problemática del alto consumo de energía, que puede estar comprometida en los diferentes procesos para la producción de leche, con el fin de tener una mayor competitividad y a su vez aplicar estrategias de la producción más limpia para aportar hacia la protección del ambiente, existe la posibilidad de utilizar energías alternativas y renovables, como los **sistemas eólicos** que aprovechan la velocidad del viento para generar energía, los **paneles solares** que almacenan la radiación solar para producir energía eléctrica, los **biodigestores** que pueden utilizar el metano que se genera desde el estiércol, el **biodiesel** que es una fuente natural y renovable de combustible, entre muchas otras alternativas. Puede ser que estos métodos no reduzcan el uso de energía, pero el impacto ambiental que generan es mucho menor a fuentes de energía convencionales principalmente las redes eléctricas locales y las plantas que usan motores de combustión interna.

*Imagen 9. Energías Alternativas: Biodigestores, Turbina eólica y paneles fotovoltaicos.*



**Fuente:** (Tecnolactea, 2010)

De acuerdo con lo anterior la implementación de energías limpias en los procesos industriales y/o agropecuarios más específicamente en los procesos de producción de leche tales como el ordeño y el enfriamiento del líquido y su pasteurización son necesarias y aplicables, por lo que a continuación, se presentan casos reales en la aplicación de energías limpias en la industria lechera a nivel mundial.

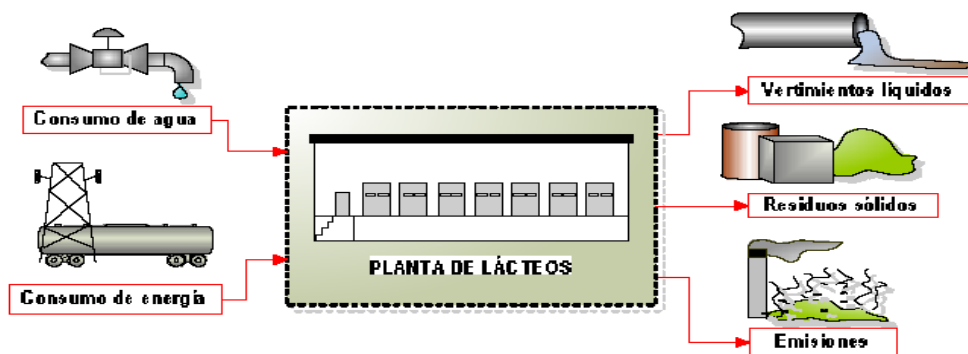
### 10.2.1. Producción más limpia aprovechando los residuos grasos de una empresa lechera

En un trabajo de estudiantes de la Facultad de Ciencias Ambientales en la Universidad Tecnológica de Pereira, se realizó una propuesta de producción más limpia que permita aprovechar los residuos grasos que generan los procesos de pasteurización y enfriamiento de la leche en la empresa Friesland Lácteos Puracé de San Juan de Pasto.

Con relación a la energía, los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira determinan que los procesos de intercambio de calor por lo general ofrecen corrientes con energía residual que puede utilizarse para proporcionar calor a otros procesos o recircular en ciclos de generación de vapor o de enfriamiento, con impactos económicos importantes, un ejemplo es el caso de los condensados que pueden ser realimentados a la caldera reduciendo los consumos de combustible y agua (Garzón y López, 2008).

Los aspectos e impactos ambientales en la producción de leche cruda más significativos en la empresa láctea FRIESLAND son los consumos de agua y energía, la generación de vertimientos con altos contenidos de materia orgánica y sólidos. También se emiten gases refrigerantes, se genera ruido y vibraciones.

**Figura 5.** Aspectos e impactos ambientales en empresas de productos lácteos otorgado por el Plan de Manejo Ambiental de Residuos Líquidos.



**Fuente:** Lácteos Puracé. Javier Santander 2004

Dentro de la empresa láctea FRIESLAND, la fuente energética más importante es la energía eléctrica, la cual se utiliza en los equipos de proceso, iluminación, acondicionamiento de aire y refrigeración. La otra fuente es la energía térmica obtenida por la combustión de diésel para generación de energía por proceso operacional (Garzón y López, 2008), esto nos indica que es un caso parecido al de la presente investigación en la Hacienda la Trinidad y ayuda a identificar las prácticas ya implementadas en esta industria.

**Tabla 10.** Valoración del consumo de energía por proceso según el Plan de Manejo Ambiental de Residuos Líquidos.

Proceso productivo	Operaciones con mayor consumo	Importancia
Leche de consumo	Pasterización	ALTA
Leche de consumo y fabricación de derivados	Almacenamiento - Refrigeración	ALTA

**Fuente:** Lácteos Puracé. Javier Santander 2004

El uso de la energía es fundamental para asegurar el mantenimiento de la calidad de los productos lácteos, especialmente en los tratamientos térmicos, en las operaciones de refrigeración y en el almacenamiento del producto.

**Tabla 11.** Usos más frecuentes de energía en la empresa láctea según el Plan de Manejo Ambiental Residuos Líquidos.

Energía	Usos más frecuentes	Equipos
Térmica	Generación de vapor y agua caliente, limpiezas.	Pasteurizadores/esterilizadores, sistemas de limpieza.
Eléctrica	Refrigeración, iluminación ventilación, funcionamiento de equipos.	Equipos de funcionamiento eléctrico (bombas, agitadores y otros), luces.

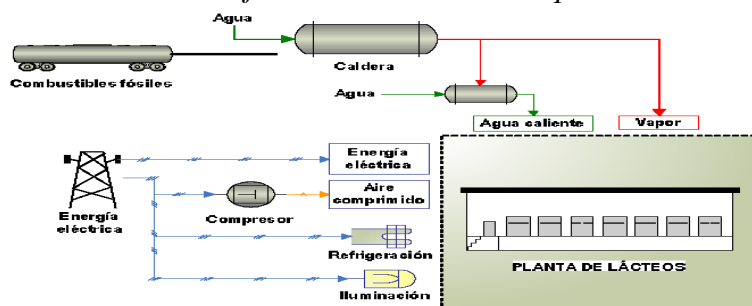
**Fuente:** Lácteos Puracé. Javier Santander 2004

De acuerdo a los autores Garzón y López (2008) “*el consumo de energía total de una empresa láctea se reparte aproximadamente entre un 80% de energía térmica obtenida de la combustión de combustibles fósiles y un 20% de energía eléctrica, por esta razón la valoración del consumo de energía por proceso es considerada de importancia alta*” (p.51).

Algunas otras apreciaciones en cuanto al consumo energético de la empresa de acuerdo a Garzón y López (2008) son:

- Las operaciones con mayor consumo de energía térmica como la pasteurización/esterilización de la leche y las limpiezas pueden llegar a consumir el 80% del total de la energía térmica de la instalación.
- La utilización de sistemas con menor consumo de energía y adopción de medidas de ahorro energético pueden contribuir a reducir de forma importante los consumos totales.
- En cuanto al consumo de energía eléctrica, la refrigeración llega a consumir entre un 30-40% del total del consumo de la instalación. Otros servicios como la ventilación, iluminación o generación de aire comprimido tienen también un consumo elevado.
- Al igual que en el caso de consumo de agua, el consumo energético depende del tipo de producto elaborado y de otros factores como la edad y tamaño de la instalación, la tecnología empleada, el manejo de la limpieza, el diseño de la instalación, las medidas de ahorro implementadas entre otras.

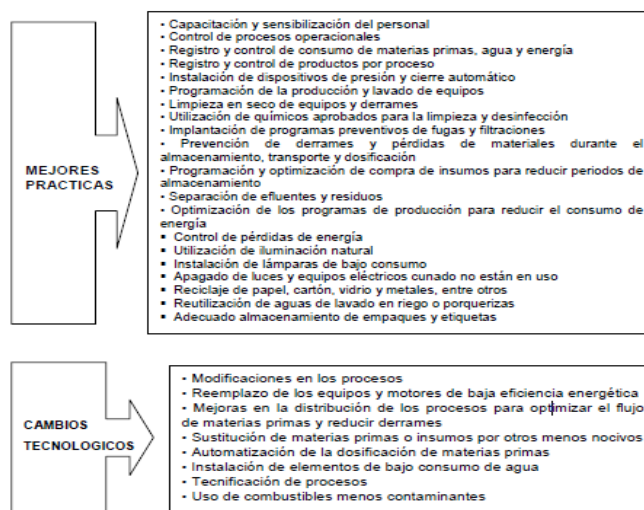
**Figura 6.** Fuentes y usos de la energía en el procesamiento de productos lácteos otorgado por el plan de manejo ambiental residuos líquidos.



**Fuente:** Lácteos Puracé. Javier Santander 2004

De acuerdo a la situación administrativa, operativa y financiera de la empresa láctea FRIESLAND Puracé, los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira realizaron un diagnóstico con el fin de establecer y priorizar las acciones que se deberán emprender para introducir la producción más limpia y lograr un buen desempeño ambiental dentro de la empresa, de una manera sencilla y fácil de aplicar, algunas de estas opciones están asociadas a optimizar el proceso productivo y otras a los cambios de tecnología y se presentan en la siguiente figura.

**Figura 7.** Opciones aplicables al sector lácteo otorgados por la investigación de los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira.



**Fuente:** Universidad Tecnológica de Pereira, 2018

Se tiene como conclusión que una razón por la cual se debe invertir en la producción más limpia, es que es posible generar mejores prácticas dentro del proceso productivo, optar por la eficiencia energética y disminuir el consumo de agua, todo esto para aportar soluciones a las problemáticas ambientales. En el caso de la Hacienda la Trinidad, es posible optar por otras alternativas ambientales que por lo general no representan tan altos costos (diseño, construcción y operación), de acuerdo a los lineamientos de la

producción más limpia, encaminados a generar beneficios económicos aprovechando y usando racionalmente las materias primas o insumos, y realizando mejoras energéticas en la operación del proceso productivo.

Estos beneficios fueron arrojados por la investigación de los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira y son los siguientes:

- Disminución de los costos de tratamiento y disposición de residuos.
- Valorización de los residuos por la venta.
- Reducción de los costos derivados de problemas de salud ocupacional.
- Ahorro en el pago de servicios de agua y energía.
- Mayor oportunidad de mejoramiento empresarial y logros de objetivos de calidad total empresarial que integren la responsabilidad por el ambiente con la seguridad industrial y la salud ocupacional.
- Mayor participación empresarial en la gestión ambiental.
- Mayor posibilidad de acceso a recursos de financiación para reconversión tecnológica.
- Mejoramiento de las relaciones con la comunidad y de la imagen pública de la empresa.

#### 10.2.2. *Sistemas de Biogás en la producción lechera*

En un trabajo investigativo realizado por la Universidad de Chile, se encargaron de analizar el beneficio de los sistemas de biogás para los productos lecheros y como primera medida la investigación arroja que es de importancia aclarar a qué grupo de productores, dentro de la industria de producción de leche, les es útil la tecnología del biogás. La forma de analizar esto será en términos de que la cantidad de biogás producido, en sistemas de digestión anaeróbica acorde a su tamaño, efectivamente los habilita para generar un ahorro energético significativo, o bien les permite introducir un nuevo elemento beneficioso para su predio.

Por lo anterior, en primer lugar, determinaron el universo de productores lecheros de Chile, y sus tamaños en cuanto a número de vacas lecheras, que de acuerdo a lo indicado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) en su Agenda Láctea 2008-2018, elaborado por Muchinik. (2008), sería de:

**Tabla 12.** *Número de explotaciones lechera y número de vacas lecheras a nivel nacional*

<b>Categoría por cantidad de vacas</b>	<b>Número explotaciones</b>	<b>Número vacas lecheras</b>
1-19	16.164	85.460
20-49	1.716	49.253
50-100	729	51.478
101-300	837	150.316
>300	291	150.027

**Fuente:** (Muchinik, 2008)

Con esta información, surge la necesidad entonces de determinar a cuáles de estas categorías generadas por Muchinik (2008), les es accesible un sistema de biogás, y por lo tanto pueden transformarse en posibles beneficiarios de un sistema de estos.

El biogás es producido en gran medida por los purines que son un subproducto de los sistemas lecheros y para estimar la cantidad de purines producidos por las explotaciones lecheras en Chile, la Universidad de Chile se basó en el Manual de Manejo y Utilización de Purines de Lechería escrito por Salazar en 2012. Este manual presenta una tabla con la información para calcular de forma práctica un estimado de la cantidad de purines que produce un sistema lechero en particular. Cabe aclarar que esta tabla se hizo para la zona sur de Chile, esto nos puede dar una idea de lo que sería en Colombia, más exactamente en San Miguel de Sema, pero no se pueden tomar los valores de manera idéntica.

**Tabla 13.** Cálculo de producción de purines en un predio de tipo de pastoreo con 100 vacas en ordeña promedio año.

Supuestos	Volumen Generado (litros/año)	Aporte (%)
<b>Fecales y orina</b>		
100 vacas en ordeña de 600 kg x (60 kg de fecas/24h) x 4h confinamiento/día	365.000	10%
<b>Aguas Sucias</b>		
27,75 x 8 unidades equipo de ordeño +134,4	130.086	4%
00403 x 3.000 litros + 11,153	48.199	1%
<b>Aguas Lluvia</b>		
600 m <sup>2</sup> construcciones sin techar x 1.500 mm de lluvia (=1.500 litros agua /m <sup>2</sup> )	900.000	25%
400 m <sup>2</sup> techos sin canalizar x 1.500 mm de lluvia (=1.500 litros agua/m <sup>2</sup> )	600.000	17%
Pozo purinero (7m radio) <sup>2</sup> x 3,1416 x 1.500 litros agua/m <sup>2</sup>	230.908	6%
<b>Agua lavado pisos y ubres</b>		



Supuestos	Volumen Generado (litros/año)	Aporte (%)
100 vacas ordeñadas x 31,2 litros Vaca/día	1'138.800	32%
100 vacas ordeñadas x 5 litros vaca día lavado ubres	182.500	5%
<b>Total</b>	<b>3'595.493</b>	<b>100%</b>

Fuente: Salazar (2012).

✓ Estos purines poseen la capacidad de ser utilizados en la generación de biogás, pero ¿qué capacidad energética tienen estos purines?

La digestibilidad anaeróbica de los excrementos animales está fuertemente influenciada por la dieta, así como por el nivel de digestibilidad de la dieta en el organismo animal y el nivel productivo de estos mismos. Se estima que la mayor tasa de producción de metano proveniente de excrementos de vacas con una productividad media de leche, y alimentadas de manera balanceada (Amon., 2007).

Además, de la alimentación de las cabezas de ganado, existen diversos factores ambientales asociados a la producción de biogás a partir de los purines, muchos de ellos relacionados con el sitio de implementación del biodigestor tales como la temperatura, tiempo de retención de los purines (su manipulación altera la capacidad energética), relación agua/estiércol y otros factores asociados a su manejo y forma de conseguirlos mezclado, concentración de sólidos, concentración de ácidos volátiles, formación de espuma, concentración de nutrientes esenciales, sustancias tóxicas y el pH, todos factores que de una u otra manera inciden en la eficiencia de la acción de las metanobacterias (Carrillo, 2003).

Se estima que la fracción biodegradable de los sólidos volátiles del estiércol de las lecherías es de 40%. Pese a que esto es un indicador de potencial de producción de metano, la cantidad específica de metano producida no es constante, debido a la multiplicidad de factores implicados ya mencionados (Wilkie, 2005).

La investigación de la Universidad de Chile acerca de la factibilidad de Biodigestores en lecherías expone una forma de llegar a una cifra promedio aproximada de producción de biogás y su contenido energético, tomando información por Balsam (2006). En esta se menciona que el contenido de energía producido por los desechos de una vaca lechera de 1.400 libras (635 kg.) es de 8,14 kW, dada por una producción de 1,3 m<sup>3</sup> de biogás al día, ahora bien, considerando un 35% de uso de esa energía para la operación del biodigestor, quedan 5,27 kW disponibles diariamente, los que, convertidos a electricidad, con una eficiencia de conversión de un 20% se convierten en 1,05 kWh diarios (Balsam, 2006).

**Tabla 14.** Contenido energético de los desechos de varios animales y su valor.

Parámetro	Cerdos	Bovinos de leche	Bovinos de carne	Camas de Broiler
Peso del animal (kg.)	60	635	360	1,8

Parámetro	Cerdos	Bovinos de leche	Bovinos de carne	Camas de Broiler
<b>Contenido energético esperado</b>				
Energía bruta (kW/animal/día)	0,67	8,14	4,86	0,053
Energía neta (kW/animal/día)	0,44	5,27	3,13	0,032
Equivalencia eléctrica (kW/animal/año)	32	385	230	2,5
Valor (\$/animal/año a \$460 el kW vendido)	6.250	71.203	42.536	100

**Fuente:** (Balsam, 2006)

La energía neta se da descontando un 35% de la energía bruta que necesita el biodigestor para su operación y la equivalencia eléctrica se da teniendo en cuenta el generador eléctrico a utilizar. Para tal investigación los estudiantes de la Universidad de Chile lo adaptaron del texto de Balsam (2006).

Es de importancia tener el dato sobre los requerimientos energéticos de las lecherías. En Alemania, el total de energía eléctrica consumida por las lecherías es de alrededor de 5 kWh por cada 100 litros de leche, de los cuales hasta 2,5 kWh son usados para el enfriamiento de la leche (Rabbetts y Lang, 2012).

Una lechería en Estados Unidos, usando el consumo promedio nacional de electricidad de 550 kWh/vaca/año (1,5 kWh/vaca/día), puede generar el 70% de sus requerimientos eléctricos con biogás (asumiendo una eficiencia del generador de un 20% y un uso del 35% del biogás producido por la mantención de la temperatura del biodigestor) (Balsam, 2006).

A partir del trabajo realizado por la Universidad de Chile se concluye que una vaca lechera produce una cantidad de energía que al convertirse en energía eléctrica es capaz de suplir sus propias demandas de energía para el proceso de ordeño y refrigeración de su leche. Cabe señalar que con un mayor número de animales se pueden generar tasas de carga más altas en los digestores, aumentando con esto la eficiencia en la producción de metano, por lo que a mayor número de animales el sistema se hace más eficiente (Wilkie, 2005).

Con los datos expuestos anteriormente arrojados por la investigación de la Universidad de Chile a partir de casos reales en Chile, Alemania y Estados Unidos se puede concluir también que los sistemas de digestión anaerobia surgen entonces como una alternativa viable y bastante conveniente para pequeños productores lecheros, con cierta capacidad de recolección de purines y de inversión.

Para que un proyecto de digestión anaerobia en lecherías sea factible de realizar se necesita un mínimo de 20 animales y con este número de cabezas de ganado es posible generar en promedio 4,4 kWh de energía eléctrica.

Económicamente hablando un análisis de la rentabilidad para distintos escenarios de capital inicial de inversión para estos proyectos de diferentes tamaños rescatando los que resultan rentables realizado por

Shelford (2012), escoge para su análisis como tamaño mínimo rebaños de 30 animales, siendo este número mínimo capaz de compensar los costos.

Los costos de inversión analizados por Shelford (2012), contemplan 2 escenarios, uno con una inversión de US\$ 1.500 /vaca (\$3'200.000 COP) y otro con una inversión de US\$ 3.000 por animal (\$6'400.000 COP). Para productores pequeños y medianos de leche se puede decir que es un costo alto por la implementación de estos sistemas con purines y biodigestores en sus procesos de producción.

*Imagen 10. Biodigestor de flujo continuo implementado en una finca de pequeña y mediana producción.*



**Fuente:** (RCM Digesters, 2008)

*Imagen 11. Biodigestor de tipo mezcla completa implementado para una lechería de gran producción*



**Fuente:** (AgStar, 2016)

### 10.2.3. *Energía solar como alternativa de producción más limpia*

Además de la energía generada por biogás también existe la posibilidad del uso de energía solar para una producción más limpia y eficiencia energética.

Estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica realizaron una investigación de un caso de uso de la energía solar para tres lecherías diferentes en Costa Rica. A continuación, se menciona la metodología usada por ellos para el diseño y la implementación del sistema.

Se refiere a un diseño de un sistema solar en la lechería del ITCR y un sistema fotovoltaico de generación eléctrica. Como variables de monitoreo importantes del sistema se encuentran variables tales como la iluminación, nubosidad, horas de luz, radiación solar directa y difusa, masa de agua calentada, temperatura del agua a la entrada el sistema, temperatura del agua a la salida del sistema (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

**Tabla 15. Lechería seleccionada.**

Lechería	Uso de agua caliente	Ubicación
1. ITCR-SSC Zona Norte	Limpieza de equipos de ordeño y de refrigeración	Santa Clara Costa Rica
2. Laboratorio de Calidad de carnes	Uso de agua caliente en el laboratorio para limpieza de huesos y grasas animales	
3. Laboratorio de Biocontroladores	Uso de agua caliente para control y limpieza	

**Fuente:** (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

**Tabla 16. Características de la lechería del ITCR.**

Lechería	Área	Kg leche	Volumen diario de uso de agua caliente	Volumen de agua caliente anual	Factura de agua anual	Factura eléctrica COP/mes	Factura eléctrica/ anual en COP
ITCR-SSC	24 has	500 kg	160 l/día	58.40 m <sup>3</sup>	1'295.021 COP	739.167 COP	8.870.009 COP

**Fuente:** (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

**Tabla 17. Ahorro total que “podría” generar el sistema por día, por mes y por año.**

Ahorro de energía	Día	Mes	Año
Ahorro de energía kWh	14,73	448,00	5.376,00
Ahorro de gas litros	2,65	80,74	968,91
Ahorro en COP	4.873,16 COP	148.420,42 COP	1.781.045,06 COP
<b>Inversión: costo del sistema en COP</b>	<b>7.575.596,67 COP</b>		

Ahorro de energía	Día	Mes	Año
Recuperación de la inversión	51 meses, si se calentara el agua con gas		

**Fuente:** (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

La implementación del sistema fotovoltaico arrojó los siguientes resultados en un periodo de 3 meses (tiempo en el cual trabajó el sistema).

**Tabla 18.** Resumen de las variables evaluadas en los paneles térmicos y fotovoltaicos ubicados en la lechería del ITCR.

Sistema	Variable	n	Media	D.E.	CV	MÍN	MÁX
Térmico	Temperatura Entrada	242	27,01	1,76	6,53	23,00	34,00
	Temperatura Final	242	49,06	10,34	21,08	26,00	75,00
	△ Temperatura (°C)	242	22,41	22,41	41,40	6,00	47,00
Fotovoltaico	kWh/día	242	5,49	5,49	36,74	1,24	10,03

**Fuente:** (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

Con lo anterior se infiere que el rendimiento de ganancia de energía logrado con este tipo de equipos es complementario a las fuentes energéticas convencionales que se utilizan en un sistema productivo, porque va a depender de la radiación solar. (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

La tendencia que presenta es previsible en este tipo de sistemas de captación energética dado que como lo reporta la literatura la optimización del aprovechamiento de la energía solar depende de la cantidad y tipo de radiación recibida que varía según la época del año, así como de los materiales utilizados para su captación y de las formas de almacenamiento.

**Tabla 19.** Generación energética, potencial disminución de factura económica y disminución en las emisiones de GEI logrados por los sistemas de captación de energía solar.

Sistema	Mes Evaluado	Equivalente energético generado (kW/h)	Disminución potencial de la factura (COP)	Disminución potencial de emisiones de GEI (ton CO <sub>2</sub> )
Térmico	Primer mes	162,7	94.606,55 COP	0,019
	Segundo mes	162,9	94.722,85 COP	0,019
	Tercer mes	97,3	56.577,86 COP	0,012

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Sistema	Mes Evaluado	Equivalente energético generado (kW/h)	Disminución potencial de la factura (COP)	Disminución potencial de emisiones de GEI (ton CO <sub>2</sub> )
Fotovoltaico	Primer mes	152,5	88.675,47 COP	0,018
	Segundo mes	161,3	93.792,48 COP	0,019
	Tercer mes	139,0	80.825,51 COP	0,016
<b>Total del periodo</b>		875,8	509.200,73 COP	0,103

Fuente: (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

*Tabla 20. Balance de energía lograda de los sistemas solares y su ahorro en porcentaje en los tres meses de estudio.*

Días	Energía consumida en las 3 lecherías en kWh	Energía consumida en la lechería del ITCR en kWh	Promedio de la producción con el sistema fotovoltaico kWh	Promedio de la producción con el sistema térmico kWh	Producción de ambos sistemas kWh	Ahorro energético neto por los dos sistemas
1	134,63	44,87	8,15	5,38	13,53	30,15%
2	144,18	48,06	7,72	5,38	13,1	27,25%
3	141,177	47,05	4,22	5,46	9,68	20,37%
4	140,496	46,83	7,54	6,03	13,57	28,97%
5	130,358	43,45	6,81	6,01	12,82	29,5%
6	127,939	42,64	5,29	5,67	10,96	25,7%
7	136,512	45,50	4,58	5,32	9,9	21,75%
8	131,624	43,87	5,51	5,71	11,22	25,52%
9	126,222	42,07	4,03	5,39	9,42	22,39%
10	84,185	28,06	4,56	5,29	9,85	35,10%
11	112,661	37,55	4,11	5,29	9,4	25,03%
12	133,097	44,36	6,75	4,85	11,6	26,14%

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Días	Energía consumida en las 3 lecherías en kWh	Energía consumida en la lechería del ITCR en kWh	Promedio de la producción con el sistema fotovoltaico kWh	Promedio de la producción con el sistema térmico kWh	Producción de ambos sistemas kWh	Ahorro energético neto por los dos sistemas
13	113,545	37,84	4,72	5,25	9,97	26,34%
14	135,251	45,08	4,15	5,25	9,4	20,85%
15	130,731	43,36	7,83	5,95	13,78	31,78%
<b>Total</b>	1922,608	640,59	85,97	82,23	168,2	26,25%

**Fuente:** (Guzmán, Quiroz y Araya, s.f).

De acuerdo al trabajo realizado por el Instituto Técnico de Costa Rica se llega a la conclusión que los colectores solares durante el periodo de evaluación lograron en promedio una ganancia diaria de temperatura de  $22,41 \pm 9,28^{\circ}\text{C}$ ; en el caso de los paneles fotovoltaicos se registró en promedio una producción diaria de  $5.49 \pm 2.02$  kWh.

Durante el periodo de evaluación los sistemas de captación y generación de energía solar produjeron el equivalente energético de 875,90 kWh lo que equivale a 0.103 toneladas de CO<sub>2</sub> y un ahorro de 509.241,85 COP según las tarifas vigentes del prestador del servicio de energía eléctrica.

El ahorro energético que se produce entre el sistema con panel fotovoltaico y la energía convencional en el periodo de evaluación están entre el 20-30 % de kWh que es un ahorro considerable para productores de leche de pequeño y mediano tamaño.

Los sistemas de energía solar se convierten en una alternativa sostenible para los productores en las actividades productivas valga la redundancia que realizan, que les permite disminuir el impacto en el ambiente.

En resumen, la industria lechera cuenta con diversas alternativas para la aplicación de producción de leche más limpia y económica, existen casos de implementación de energías alternativas a nivel mundial por lo cual se cuenta con antecedentes de lecherías que optaron por el manejo de estas energías para mitigar el impacto ambiental generado por la producción de leche. En mayor número se evidencian casos de la implementación de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía solar siendo esta alternativa la más usada por los grandes productores de leche, sin embargo, existe otra alternativa para los productores medianos y pequeños que es la generación de energía eléctrica por medio de biodigestores que aprovechan los subproductos que genera la producción de leche y los excrementos de los animales ordeñados. La implementación de energía eólica no es común en la industria lechera por motivos geográficos y económicos.

La implementación de la energía eólica en la industria lechera no se vuelve muy común por las condiciones geográficas necesarias para implementar este tipo de generación de energía, 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.

### 10.3. Objetivo específico 3

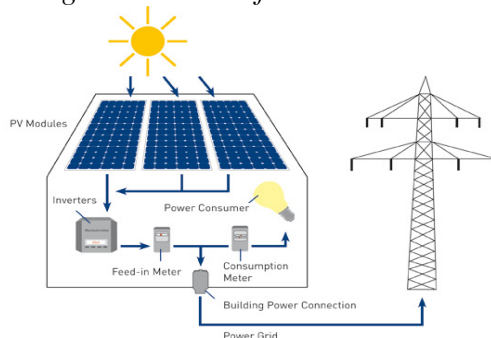
#### “Proponer el diseño del sistema de energía fotovoltaica para el estudio de caso “Hacienda la Trinidad” vereda de Sabaneca, municipio de San Miguel de Sema- Chiquinquirá, Boyacá.”

Se propuso un diseño de un sistema de panel fotovoltaico interconectado a la red eléctrica local que sea capaz de cubrir la demanda de kWh del proceso de ordeño de Hacienda la Trinidad en el municipio de San Miguel de Sema en Boyacá.

De acuerdo a los autores Aristizábal y Gordillo (2006) en Colombia no existe una reglamentación para la instalación y uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, por lo tanto, se analizarán las normas existentes a nivel internacional para tener información de las recomendaciones que se dan en materia de instalación y operación de sistemas FV interconectados a la red. El estándar IEEE 929-200 define en forma clara y práctica los requerimientos técnicos de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica local, de esta manera se tuvo en cuenta para el diseño.

En la **Figura 8.** se muestra el diseño del sistema completo, el cual consta de tres unidades principales que son: Unidad de generación fotovoltaica (paneles), inversor y elementos de protección.

*Figura 8. Diagrama sistema fotovoltaico interconectado.*



**Fuente:** GreenRising, 2015.

Para dar inicio al diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico interconectado - SFVI se puede empezar por el Generador FV de energía fotovoltaica (módulos fotovoltaicos o paneles) y su correspondiente estructura de soporte:

- El acondicionador de potencia, responsable de adaptar las características de la energía producida por el generador (DC a tensión variable) a las requeridas por la red eléctrica (AC a 120 o 208 V), también llamado convertidor DC/AC o inversor.
- El panel general de servicios o punto de acople común (PCC-point of common coupling), donde se encuentran las protecciones, o conjunto de elementos y medidas adoptadas para garantizar la seguridad del propio SFVI y la red eléctrica.



- La carga, formada por todas aquellas aplicaciones que demandan energía eléctrica para su funcionamiento en este caso los equipos de ordeño y de enfriamiento de la leche en la Hacienda la Trinidad.

### 10.3.1. Red eléctrica convencional

El funcionamiento básico del SFVI es de la siguiente forma: la energía eléctrica producida por el generador FV cuando la radiación solar está sobre él, se transforma en corriente alterna, con unas características idénticas a la corriente eléctrica de la red, y se interconecta automáticamente con ella. Este proceso lo realiza el inversor, que transforma la corriente continua de los módulos solares a corriente alterna, con una tensión de salida estable y una corriente variable en función de la intensidad de la radiación solar. La corriente alterna generada por el inversor se sincroniza con la frecuencia de la corriente de la red y después de pasar por el contador, será inyectada a la red.

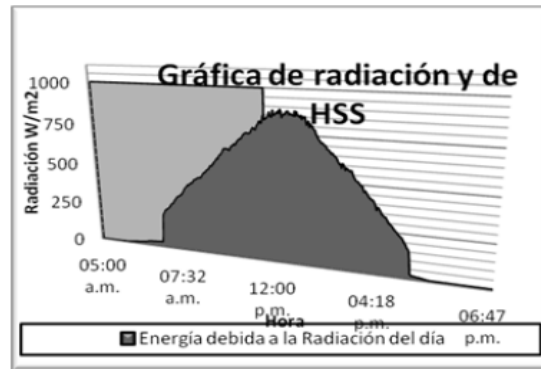
La potencia fotovoltaica generada puede ser consumida totalmente por la carga instalada que tenga el usuario. Sin embargo, la energía no consumida en el mismo sitio de la instalación nunca se pierde, ya que se vierte a la red general de distribución, y puede ser consumida a muy corta distancia de donde es producida, por lo tanto, las pérdidas asociadas a su transporte son insignificantes. La energía generada descentralizadamente evita que una cantidad equivalente sea transportada a gran distancia, con pérdidas añadidas, y por la misma razón, se reduce la saturación de las líneas de transporte hasta el consumidor final.

La generación de energía durante las horas de mayor demanda (en el periodo diurno, y especialmente en zonas donde se usan sistemas de climatización), suaviza el descenso de voltaje que se suele producir en los extremos de las líneas de distribución en baja tensión durante las horas de consumo. Esta coincidencia con la punta de demanda eléctrica diurna ayuda a aplanar la curva de demanda.

El punto de partida en el diseño de SFVI es el conocimiento del recurso energético. Dicho recurso energético se cuantifica mediante las **horas de radiación estándar** (HSS). Este parámetro define la energía disponible en forma de radiación solar en la región donde se va a ubicar el sistema. Corresponde al número promedio de horas por día con un sol radiado a  $1000 \text{ W/m}^2$ .

La **Gráfica 3**, ilustra una manera práctica para definir HSS: Las áreas bajo las dos curvas son iguales. El área gris oscura, representa la energía debida a la radiación típica de un día. La zona gris clara, corresponde a la radiación solar producida cuando el sol está radiando a  $1000 \text{ W/m}^2$ . El número de horas para las cuales las dos áreas son iguales, es el mismo de horas del sol estándar.

**Grafica 3. Definición de HSS**

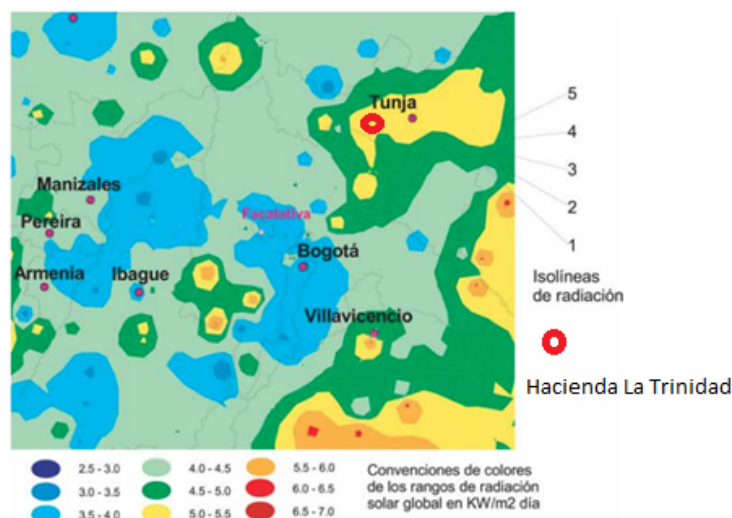


**Fuente:** IDEAM, 2018

Los valores de HSS se reportan generalmente como promedios mensuales y anuales. Para el caso del dimensionamiento de los SFVI, se utilizan los datos mensuales, sobre todo en las zonas donde existen estaciones y por consiguiente el comportamiento de la radiación es distinto en diferentes periodos del año.

Para el caso específico del municipio de San Miguel de Sema, gracias a un atlas de radiación solar publicado por el IDEAM el dato de radiación utilizado es aproximadamente **5 HSS**. Sin embargo, estos valores podrían cambiar significativamente en los periodos del año, es por eso que se propone interconectar el SFV a la red puesto que si el potencial energético de la zona es muy bajo el sistema podría ser insuficiente para cubrir la demanda energética y la red eléctrica local pasaría a cubrir la demanda que el SFV no alcanza a cubrir. De manera que este valor de radiación estándar es un promedio anual del IDEAM.

**Figura 9. Mapa de radiación solar de la región andina.**



**Fuente:** Atlas de radiación solar de Colombia, IDEAM.

### 10.3.2. Tendencias en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos interconectados

El dimensionamiento de cualquier sistema fotovoltaico (autónomo o interconectado) se realiza por energía y no por potencia como se hace generalmente en una instalación eléctrica. Los SFVI se diseñan determinando cuánta energía (en kWh) debe ser producida por el sistema en un tiempo determinado, generalmente un año. Principalmente, existen dos tendencias básicas que se siguen para encontrar el tamaño del sistema:

✓ ¿Con qué instalación cubriría el consumo eléctrico anual producido por los equipos de ordeño de leche?

Un criterio comúnmente utilizado para encontrar la dimensión óptima de un SFVI sería el que permitiera, en un año normal, cubrir completamente la demanda de energía eléctrica actual de una familia o de la instalación donde éste va a ser situado. Este consumo se verifica fácilmente revisando los recibos de la compañía eléctrica o las marcaciones del contador de la instalación durante el año.

• ¿Con qué instalación cubriría el costo del consumo eléctrico anual producido por los equipos de ordeño de leche?

Este criterio es también utilizado sobre todo en países donde ya existe regulado el uso de estos sistemas, donde se paga una prima especial a la energía generada. En este caso, lo que se busca es recuperar, con la prima, la misma cantidad de dinero que actualmente gasta la instalación en electricidad.

### 10.3.3. Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico (FV)

La conveniencia de sobredimensionar el generador fotovoltaico respecto del inversor ha sido frecuentemente adoptada para realizar el diseño de este tipo. Esta pérdida se puede cuantificar mediante un parámetro adimensional denominado

$$FDI = \frac{P_{\text{máxima, Inversor}}}{P_{\text{nominal, Generador}}} = \frac{P_{\text{máx, I}}}{P_{\text{nom, G}}} \quad (3)$$

El cálculo de la potencia pico que debe suministrar el generador FV para suplir una demanda determinada se calcula por medio de la siguiente relación:

$$PGFV = \frac{E}{HSS \times PR \times 365} \quad (4)$$

Donde  $E$  es la producción promedio de electricidad solar anual (kWh/año) requerida para el funcionamiento de los equipos de ordeño de leche de la Hacienda la Trinidad que se definió en el primer objetivo de la investigación,  $HSS$  es el número de horas de radiación solar estándar del municipio de San Miguel de Sema y  $PR$  es el factor de rendimiento del sistema.

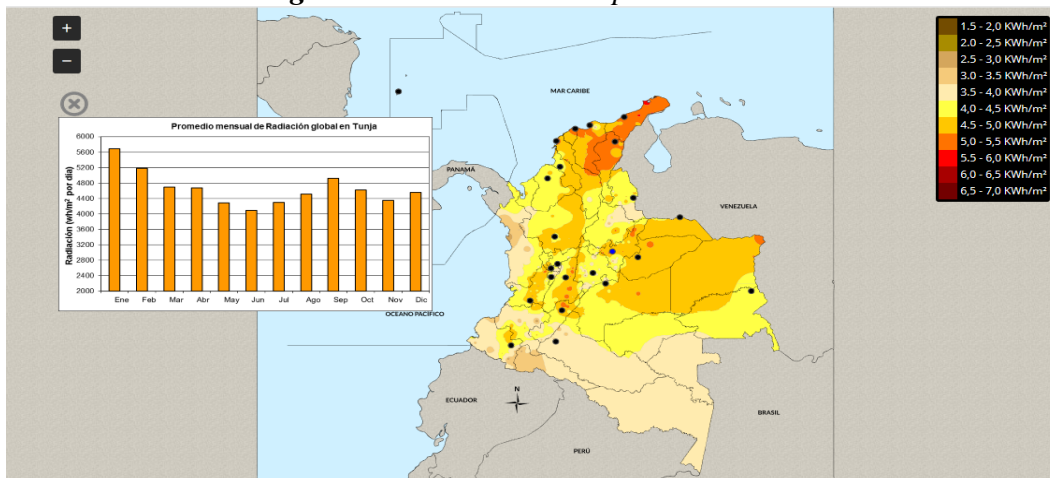
Para lograr una mayor generación, es recomendable orientar adecuadamente el arreglo de módulos FV; en general, el ángulo de orientación debe ser igual a la latitud de la localidad y mirando hacia el ecuador.

El valor de horas de sol estándar (HSS) del municipio de San Miguel de Sema que es el lugar donde se pretende implementar el SFV es de **cinco (5)**, lo cual significa que, durante el día, en promedio el sol

produce alrededor de 1000 W/m<sup>2</sup> durante 5 horas. Este valor nos permite determinar la cantidad de electricidad que puede producir el SFV al día y de forma mensual y anual.

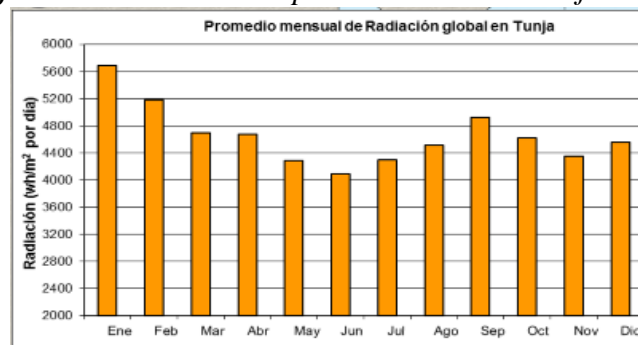
Con el fin de demostrar el potencial energético en San Miguel de Sema se tomaron para este proyecto investigativo fuentes confiables de los atlas de radiación solar generados por el IDEAM. Es de vital importancia saber que Colombia presenta un gran potencial tecnológico ante todo lo relacionado con las fuentes solares en energías renovables; al estar ubicado en la línea ecuatorial y ser un país tropical presenta una condición de no tener estaciones a lo largo del año, ya que en algunas zonas la presencia del sol con la misma intensidad está en todos los meses del año.

**Figura 10. Potencial solar para Colombia**



**Fuente: IDEAM**

**Gráfica 4. Potencial solar para la ciudad de Tunja en 2017**



**Fuente: IDEAM**

Según el mapa la radiación solar aporta un promedio de 4–5.5 kWh/m<sup>2</sup> en la zona de Hacienda la Trinidad en el municipio de San Miguel De Sema- Boyacá.

Debido a la demanda de kWh que requiere suplir el SFV se dice que se van a generar en promedio 70 kWh/día. De esta forma, empleando la ecuación (4) y un factor de rendimiento (PR) del 10%, se requiere un generador FV de 22,213 kW nominales. Se decidió trabajar con generadores fotovoltaicos del fabricante Trina Solar, más exactamente el modelo TSM-PEG14 (anexos) que tiene como potencia

nominal 340 W, esto quiere decir que para cumplir la demanda de la Hacienda la Trinidad se necesitan 66 módulos conectados en serie para una potencia nominal total de 22,240 kW.

#### 10.3.4. Módulos fotovoltaicos

Para el diseño del generador FV se decidió usar módulos fotovoltaicos de silicio policristalino de doble vidrio de marca TRINA SOLAR. el módulo consta de 66 celdas, resistencia al PID y con certificación clase A por TUV R conforme a ensayo de incendio IEC 61730-2/MST 23.

Las especificaciones eléctricas y condiciones de funcionamiento de este tipo de módulo utilizado pueden observarse en la **Tabla 21**.

**Tabla 21.** Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico TSM-PEG14

<b>Potencia nominal (Pm)</b>	340 W <sub>p</sub>
<b>Tolerancia</b>	± 5 W
<b>Corriente nominal (Imp)</b>	8,95 A
<b>Voltaje nominal (Vmp)</b>	38 V
<b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>	9,39 A
<b>Voltaje de circuito abierto (Voc)</b>	46,2 V
<b>Temperatura de operación</b>	44°C (± 2K)
<b>Coefficiente de temperatura Voc</b>	-0,32%/K
<b>Coefficiente de temperatura Isc</b>	0,05%/K
<b>Coefficiente de temperatura Pm</b>	-0,41%/K

**Fuente:** (Trina Solar, 2016)

Como el área de cada módulo es de 1.9 m<sup>2</sup> y la potencia máxima de salida es de 340 W, utilizando condiciones de prueba estándar (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y MA 1.5) se puede calcular la eficiencia del mismo.

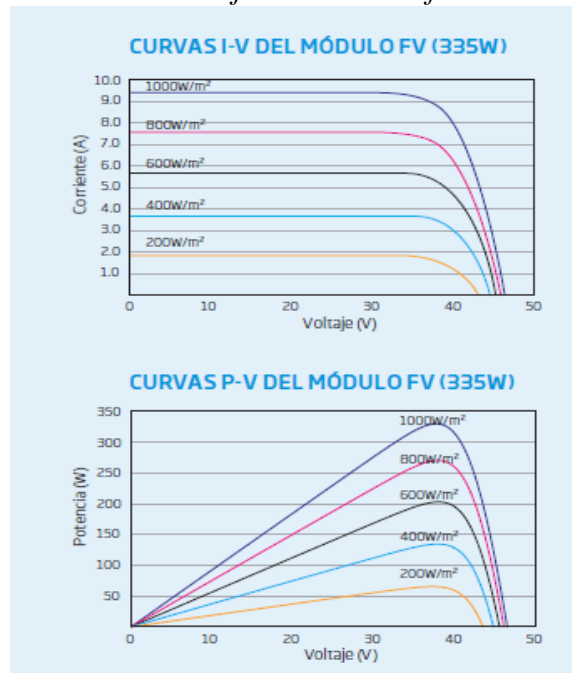
$$P_{in} = 1000 \left( \frac{W}{m^2} \right) * 1,9 m^2 = 1900 W \quad (5)$$

$$Eficiencia = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100 = \frac{340 W}{1900 W} * 100 = 17,9 \% \quad (6)$$

Que es una eficiencia bastante buena comparada con módulos policristalinos del mercado. En la **Gráfica 5**. se puede observar la curva característica de funcionamiento del módulo en condiciones de prueba estándar.

El **área total** ocupada por el arreglo de paneles solares que serían instalados e implementados en la “Hacienda La Trinidad” es **de 125.4 m² repartidos entre los 66 módulos** con los que contará el sistema de generación fotovoltaica interconectado a la red.

**Gráfica 5.** Curvas características del módulo fotovoltaico TSM-PEG14 tomada de la hoja de datos del fabricante.



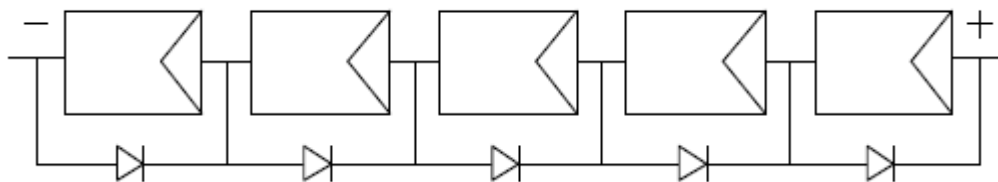
**Fuente:** (TrinaSolar, 2016)

Teóricamente para obtener una potencia mayor se debe tener en cuenta que la potencia pico total generada ( $P_{pG}$ ) está dada por la potencia pico de cada módulo ( $P_{pM}$ ) multiplicada por el número de módulos ( $N_T$ ).

$$P_{pG} = P_{pM} * N_T \quad (7)$$

En la **Figura 11** se muestra la forma de cómo están conectados los módulos en serie. Cada módulo internamente cuenta con su respectivo diodo de paso que se utiliza para protección contra puntos calientes ocasionados por sombreado parcial.

**Figura 11.** Conexión de los módulos fotovoltaicos mostrando los diodos de protección



**Fuente:** (Autores, 2018)

10.3.5. *Inversor para inyección de energía solar en la red*

Para el dimensionamiento del inversor se empleó un FDI (Factor de distorsión) del 20%; por lo cual mediante la expresión (1) la potencia nominal de este equipo resulta en 22 kW nominales aproximadamente. Comercialmente se selecciona el inversor marca Sunny Boy de la compañía SMA América cuyas características se presentan en la **Tabla 22**.

**Tabla 22.** Características eléctricas del inversor Sunny Boy.

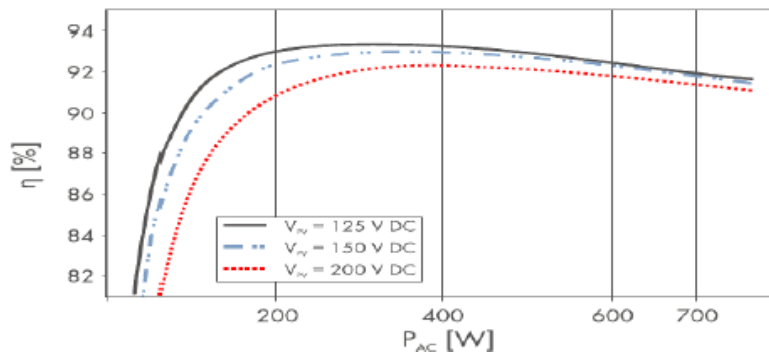
<b>Máximo voltaje DC</b>	250 V
<b>Rango de voltaje MPP</b>	125-200V
<b>Máxima corriente de entrada DC</b>	7A
<b>Potencia nominal AC</b>	22 k W
<b>Corriente máxima de salida AC</b>	6.6 A
<b>Rango de voltaje nominal AC</b>	106-132V
<b>Eficiencia máxima</b>	93,6%
<b>Cumple normas</b>	IEEE 929-2000, IEEE 1547, UL 1741, UL 1998

**Fuente:** (Sunny Boy, 2014)

El inversor cumple con los requerimientos de la norma IEEE 929-2000 en cuanto a calidad de potencia eléctrica: distorsión armónica de tensión, componentes armónicos, variaciones de tensión y de frecuencia, presencia de flicker y factor de potencia.

La curva de eficiencia de este inversor puede verse en la **Gráfica 6**, se puede notar que la eficiencia máxima debe coincidir con el punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico en el caso de este inversor se logra cuando el voltaje PV generado está alrededor de los 125V DC.

**Gráfica 6.** Curva de eficiencia del inversor Sunny Boy 700-US tomada del catálogo del producto.



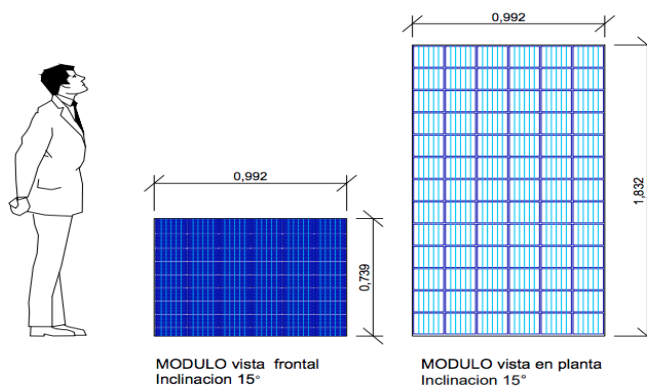
**Fuente:** (Sunny Boy, 2014)

Dimensionado el sistema FV y elegido el inversor para interconectar el sistema a la red eléctrica local a utilizar en el proceso de generación de energía solar para la alimentación de los equipos de ordeño de Hacienda la Trinidad, se contó con los datos necesarios para la implementación del sistema FVI, sin embargo, la implementación del sistema no está dentro de los alcances del proyecto y el diseño será analizado posteriormente en la investigación.

10.3.6. *Diseño técnico del sistema fotovoltaico propuesto*

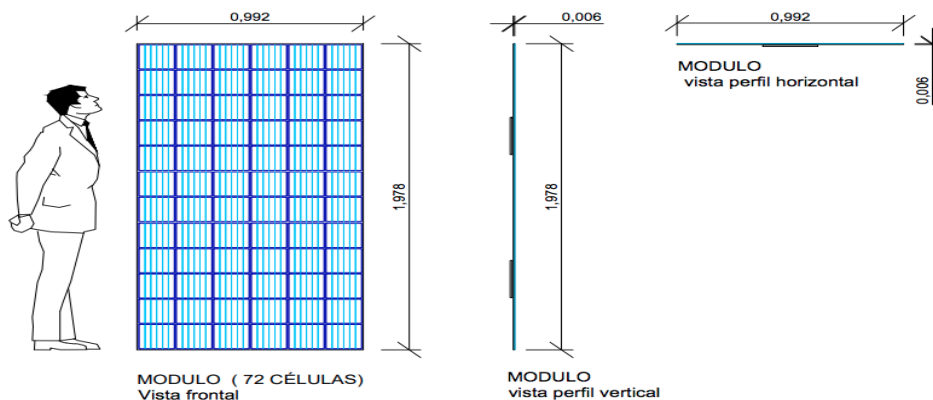
A partir de los cálculos obtenidos y la selección del tipo de panel solar a utilizar se diseñaron en AutoCAD los planos en 2D con todas las dimensiones que establece el fabricante del panel solar en la ficha técnica del producto. Así mismo se diseña el despiece en 3D con Sketch up. A continuación, todos los diseños elaborados:

**Figura 12.** Vista frontal y en planta del panel solar seleccionado con una inclinación de 15° (Las medidas están dadas en metros)



Fuente: Autores, 2018

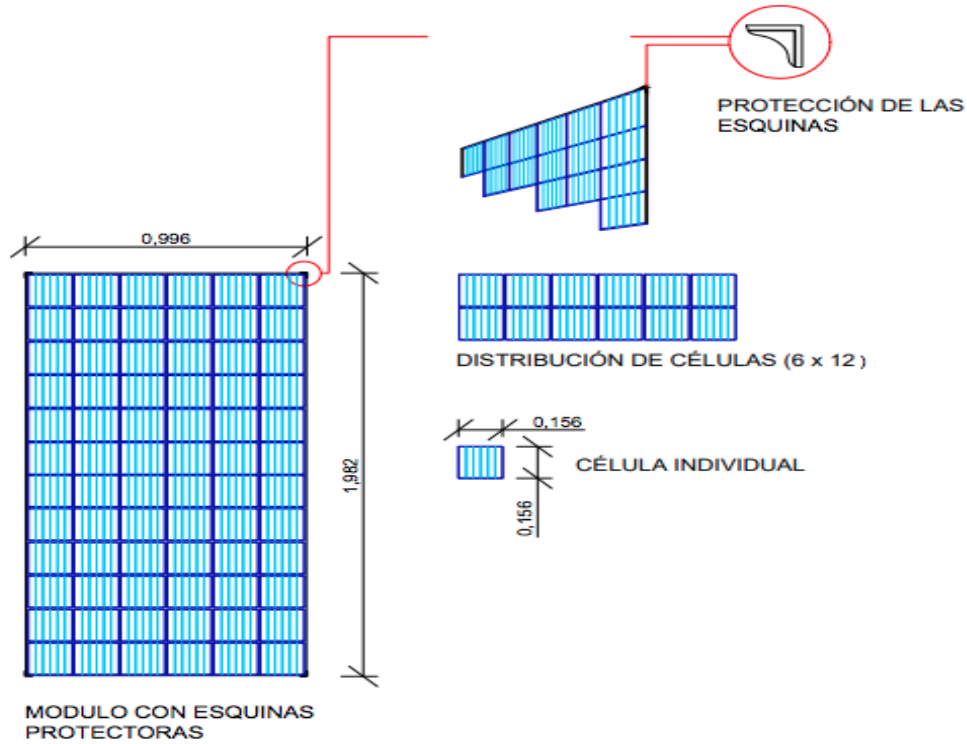
**Figura 13.** Vista del panel solar seleccionado en perfil vertical y horizontal (las medidas están dadas en metros).



Fuente: Autores, 2018

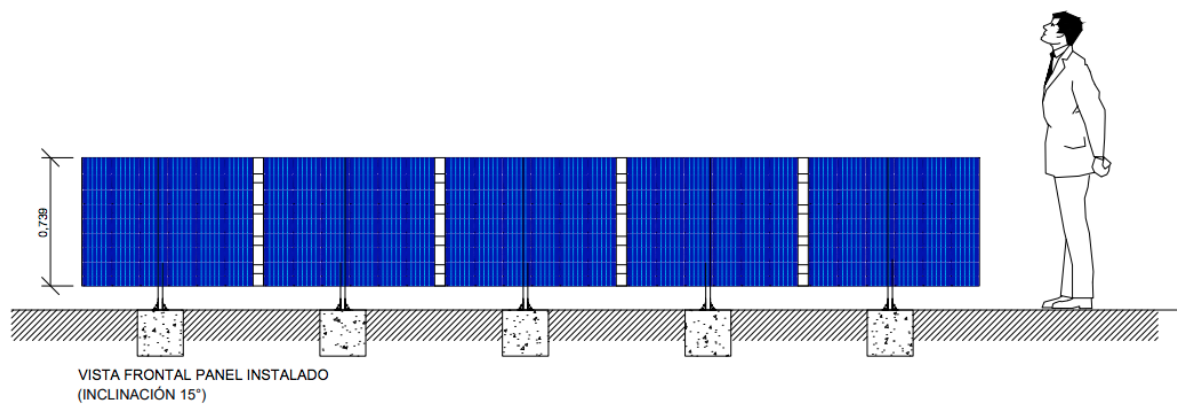


**Figura 14.** Dimensiones detalladas de cada panel solar: distribución de células y célula individual (las medidas están dadas en metros)



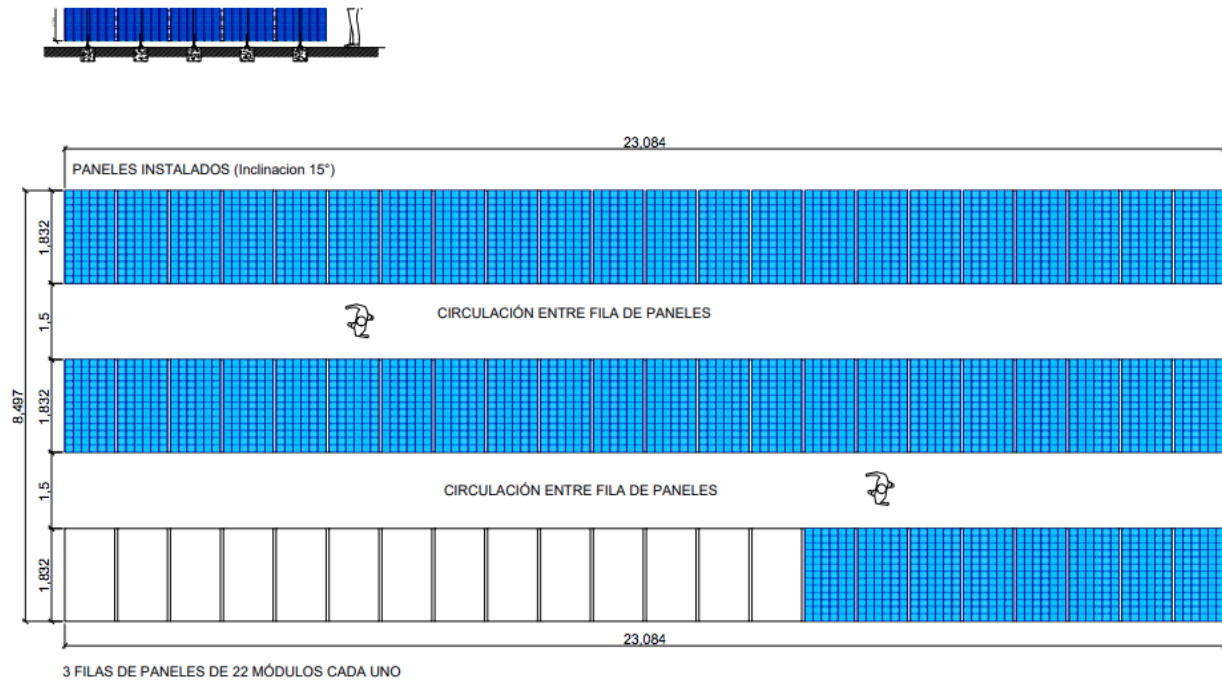
**Fuente:** Autores, 2018

**Figura 15.** Vista frontal de una sección de paneles instalados (las medidas están dadas en metros)



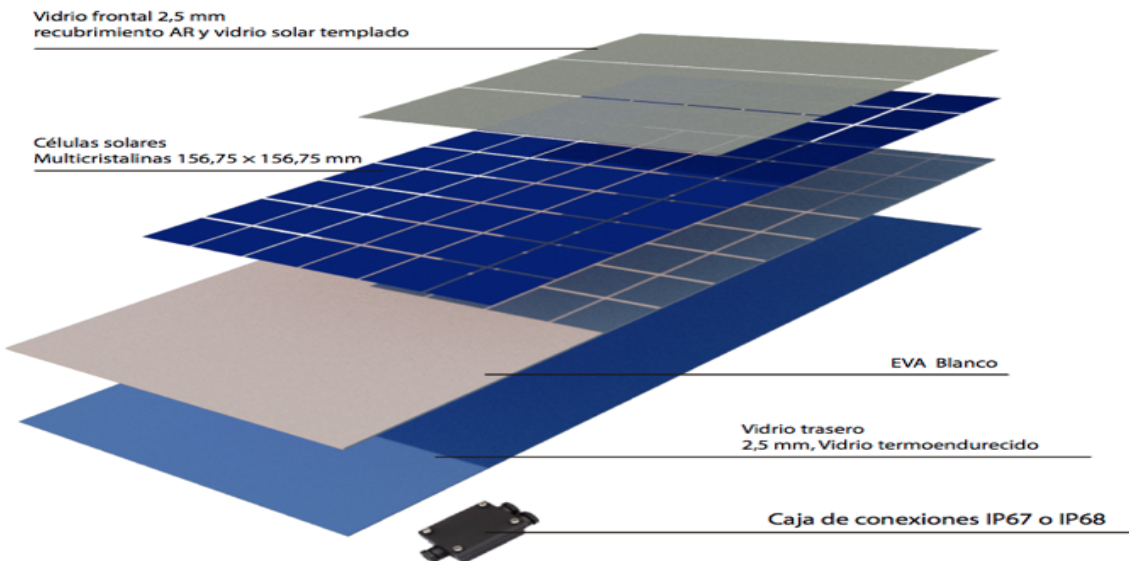
**Fuente:** Autores, 2018

**Figura 16.** Diseño de la distribución de los 66 paneles solares (las medidas están dadas en metros)



**Fuente:** Autores, 2018

**Figura 17.** Despiece de un panel solar en 3D



**Fuente:** Autores, 2018

La razón por la cual se decide diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red por encima de un sistema de autónomo es la operación del sistema, es decir un sistema interconectado a la red tiene una capacidad de funcionamiento que el sistema autónomo puesto que el sistema autónomo depende única y exclusivamente de la energía que pueda generar el arreglo de paneles solares, estando limitado en días nublados. Mientras que un sistema interconectado a la red puede alternar entre la energía solar y la red de energía convencional para suplir las necesidades de la “Hacienda La Trinidad”.

## 11. Análisis y discusión

### 11.1. *Objetivo específico 1*

De acuerdo a Ponce (2007) el análisis DOFA permite realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y que permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada. Por ello, a continuación, se detalla el análisis DOFA realizado al proceso de ordeño en la Hacienda la Trinidad.

#### ✓ **Fortalezas:**

- La finca reúne una infraestructura adecuada y requerida para el desarrollo de la actividad lechera.
- La oferta de forraje a las vacas es de alta calidad.
- Buen sistema de manejo de información del sistema de ordeño en Hacienda la Trinidad.
- Protocolos de higiene bien establecidos tanto para los bovinos como para el almacenamiento de leche.
- Calidad de la leche producida, en cuanto al conteo bacterial.

#### ✓ **Oportunidades:**

- La cuota de litros de leche producidos existente se podría aumentar con un cambio a la dieta de los animales.
- Si se adquieren más equipos de ordeño este proceso podría ser más rápido y eficiente.
- Aprovechamiento de la poda para la alimentación de los animales.
- Con la implementación de una producción más limpia reducir costos económicos, energéticos y ambientales.
- Con la implementación de un Sistema de producción de energía reducir costos económicos por concepto de servicios públicos

#### ✓ **Debilidades:**

- Gasto económico excesivo en las facturas de servicios públicos.
- El recurso humano requiere de capacitaciones y motivación.
- Alto impacto ambiental del proceso de recolección de leche.
- Uso de plantas de ACPM para suplir el servicio de electricidad.

✓ **Amenazas:**

- El potencial ataque y desarrollo de plagas y enfermedades en los pastos y animales existentes en la zona.
- El contagio de animales con enfermedades
- Producción de gases de efecto invernadero por los excrementos de la vaca y las plantas de ACPM que pueden incidir en la salud del personal y de los animales.
- El cambio climático debido a las altas temperaturas y el desarrollo de estrés calórico a los animales.
- Los continuos cortes en el servicio eléctrico que hacen necesario el uso de plantas de ACPM.

*11.1.1. Análisis de la propuesta del sistema solar fotovoltaico*

La energía solar fotovoltaica se presenta como una de las tecnologías de producción energética alternativa con grandes ventajas productivas y ambientales. Es relativamente bajo el impacto ambiental de las tecnologías asociadas a la producción de paneles fotovoltaicos y la capacidad para convertir directamente la luz del sol en electricidad, sin emisiones de CO<sub>2</sub>, permiten vislumbrar una futura era solar para la generación de energía en todo el mundo.

Con base a esto se puede decir que los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos pueden ser usados en actividades agropecuarias y en unidades de producción del sector, entre ellas las lecherías y su proceso de recolección de leche en forma de autoconsumo, para reducir los costos por consumo de energía eléctrica (reflejadas en las facturas que presentan las empresas prestadoras del servicio) y disminuir la huella de carbono del sector ganadero.

Al realizar el diagnóstico del sistema de recolección de leche en la Hacienda la Trinidad, se evidencia la pertinencia de aplicar tecnologías alternativas basadas en los sistemas fotovoltaicos por dos razones, una es por la minimización del impacto ambiental generado en los procesos productivos del sector ganadero más exactamente en el proceso de recolección de leche, principalmente por la quema de combustibles ACPM que se llevan a cabo en las plantas de energía. La segunda razón radica en que resulta una alternativa para dejar la dependencia al servicio de energía eléctrica que presta la empresa pública EBSA, servicio que presenta frecuentes interrupciones.

Por lo anterior, se analizó que un diseño de un sistema fotovoltaico no sólo es un paso para la mejora económica y ambiental para Hacienda la Trinidad en su proceso productivo, sino que representa posibilidades para la aplicación de la producción más limpia en la zona ya que existe una gran cantidad de lecherías en San Miguel de Sema por hacer parte de la cuenca lechera cundiboyacense; además hay un amplio sector productivo en la región como invernaderos de producción de hortalizas, plantas ornamentales, fincas destinadas a producción de semillas y de otros tipos, que usan de manera sistemática recursos hídricos y atmosféricos en sus unidades, que calentados por medio de resistencias eléctricas, intercambiadores térmicos y por medio de gas que generan un consumo energético importante, creando oportunidades para la aplicación e implementación de este tipo de diseños presentados en este trabajo.

## 11.2. *Objetivo específico 2*

Como análisis a los resultados arrojados en el desarrollo del segundo objetivo específico del proyecto se realiza una comparación cualitativa de la generación de electricidad por medio de paneles solares y por medio de biodigestores y cuantitativa en cuanto a los casos específicos de implementación de biodigestores y paneles solares a nivel mundial.

### 11.2.1. *Comparación cualitativa*

Como **ventajas** más significativas, el uso de biodigestores para producir energía térmica y eléctrica principalmente está en la reducción de gas metano, gas que en altas cantidades es tóxico para los seres humanos y animales (seres vivos en general), los biodigestores y la producción de biogás evitan malos olores provenientes de los excrementos del ganado bovino entre el 90% y 100% además de que evitan en un 100% la contaminación de suelos y agua gracias al aprovechamiento de los subresiduos generados por los procesos de producción de leche en la industria ganadera.

En cuanto a la generación de energía térmica por medio de los biodigestores se tiene como ventaja evitar el corte árboles para la recolección de leña, no se produce humo en este proceso lo que permite evaluarlo como un sistema de generación de energía limpia y evita la proliferación de insectos que atraen los excrementos del ganado bovino.

Cómo beneficio extra se tiene la generación de fertilizante orgánico para los suelos y los cultivos que puedan existir alrededor del biodigestor, también para fertilizar el pasto el cual es consumido por los mismos animales de los que se saca la leche.

El biogás generado a partir de biodigestión anaeróbica de purines de bovino tiene un porcentaje de metano ( $\text{CH}_4$ ), cercano al 60% y producto de su alto poder calorífico es un elemento valioso desde el punto de vista de la energía térmica disponible y de la energía eléctrica aprovechable.

Como **desventajas** del uso de biodigestores se encuentra que el digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, debe mantenerse a una temperatura constante y cercana a los  $35^\circ\text{C}$ . Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos. Es posible que, como subproducto, se obtenga sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ), el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato reductoras. La presencia de  $\text{SH}_2$  hace que se genere menos  $\text{CH}_4$ , disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo (Corona, 2007).

Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles como el documento CREG-056 de 2009 y CREG-079 de 2012 (Comisión de Regulación de Energía y Gas), requiere de un trabajo diario y constante, sobre todo para la carga de la materia orgánica. Dependiendo del modelo, requieren de mucho cuidado sobre todo cuando son construidos con plásticos, ya que éstos pueden ser fácilmente cortados y quedar inutilizados.

Los costos asociados a la construcción de los digestores anaerobios son altos, comparado con sistemas no convencionales de tratamiento, principalmente porque necesita de un sistema integrado, para proporcionar un tratamiento completo y adecuado a los purines. Además, necesita la instalación de dispositivos que permitan, calentar los purines hasta una temperatura adecuada y la instalación de un

sistema de recolección y acumulación del gas, para su posterior uso o quema (Flores, 2013). Los costos de operación y mantención no son altos, solo requiere personal capacitado, para que realicen las labores de mantención, que por lo general no son muy frecuentes.

Económicamente hablando el uso de paneles solares cuenta con diversas **ventajas** en las cuales se encuentra la gratuidad de la energía del sol, el bajo mantenimiento o gastos de funcionamiento de estos sistemas genera un ahorro significativo para la industria agrícola. No se requiere de combustible para su funcionamiento siendo de esta manera sistemas amigables con el ambiente, no necesita mantenimiento por ejemplo de sus fungibles, repuestos, mano de obra. Su instalación es sencilla y requiere de poco personal y tiempo para llevar a cabo la misma, el costo de electricidad es inferior a la de las plantas que trabajan con ACPM.

Entre las **desventajas** de los paneles se puede pensar en el costo de la implementación del sistema, su intermitencia puesto que, aunque siempre tenemos presencia de radiación no es posible predecir con exactitud el valor de la misma a determinada hora del día porque podrían presentarse nubosidades o lluvias que reduzcan su efectividad.

### 11.2.2. Comparación cuantitativa

Otra desventaja es el área que ocupan los módulos fotovoltaicos, para cubrir una alta demanda de kWh es necesario unir varios paneles en serie lo que genera un alto volumen de ocupación del sistema. En la **Tabla 23**, se muestra un cuadro comparativo entre los sistemas evaluados en el objetivo específico 2 con cifras recopiladas sobre ambos sistemas.

**Tabla 23.** Cuadro comparativo cuantitativo entre sistema de biodigestor y paneles solares.

Biodigestores	Paneles solares
Producción energética diaria de una vaca lechera es de 8,14 kW	Ahorro de energía en kWh es de 14,73 por día; 448 por mes y 5.376 por año.
El 35% de la producción energética de cada vaca se usa para la operación del biodigestor.	Ahorro de gas metano en litros 2,65; por año, 80,74; y por mes y 968,91
5,27 kW diarios para producir electricidad.	Ahorro económico de 4.873,16 COP por día, 148.420,42 COP mensuales y 1'781.045,06 COP
Con una eficiencia de un 20% se convierten en 1,05 kWh.	Inversión de 7'575.596,67 COP para un establo de 40 vacas.
Inversiones para pequeños productores alrededor de 3'200.000 COP.	Recuperación de la inversión en 51 meses.
Inversiones para medianos productores alrededor de 6'400.000 CO.	Disminución de factura de servicio de energía eléctrica en un periodo de 3 meses de 509.300,73 COP

Biodigestores	Paneles solares
Para grandes productores no es recomendable implementar biodigestores como energía alternativa.	Producción de 85,97 kWh en un periodo de 15 días.
El tiempo de retención de los purines y su manipulación altera la capacidad energética del mismo.	El aprovechamiento de la energía solar depende de la cantidad y tipo de radiación recibida que varía según la época del año, así como de los materiales utilizados para su captación y de las formas de almacenamiento.
Fracción biodegradable de los sólidos volátiles del estiércol de las lecherías es de 40% esto muestra el potencial de producción de gas metano.	El ahorro energético que se produce entre el sistema con panel fotovoltaico y la energía convencional en un periodo de 3 meses está entre el 20-30% de kWh.

**Fuente:** Autores, 2018

### 11.3. *Objetivo específico 3*

Para realizar un análisis de beneficio-costos de la implementación del sistema de paneles fotovoltaicos interconectados a la red es necesario revisar los datos de consumo por parte de los equipos de ordeño en la Hacienda la Trinidad.

El consumo de energía eléctrica de la hacienda no presenta una tendencia o comportamiento definido a lo largo de los meses, sin embargo, se estimó en el objetivo específico 1 de esta investigación el consumo diario, mensual y anual a partir del funcionamiento de los equipos de ordeño utilizados.

Los costos que asume la hacienda debido a los equipos de ordeño en promedio según la tarifa de kWh que proporciona la empresa prestadora del servicio eléctrico EBSA son de \$34.516 diarios, \$1'035.468 mensuales y \$12'598.194 anualmente.

Para la inversión prevista de la instalación y adquisición de los paneles solares se hizo la selección de los paneles de acuerdo a su potencia nominal, ya que si se utilizan paneles con poca capacidad el área que ocupará el sistema será mayor y el objetivo es hacer el sistema lo más óptimo que se pueda. A estos paneles se le determinaron las siguientes especificaciones técnicas mínimas para funcionamiento y aprovechamiento de luz solar, las cuales comprenden un total de 66 paneles solares de tecnología de punta china con una potencia de 340W cada uno.

**Tabla 24. Especificaciones técnicas de paneles solares**

DESCRIPCIÓN	
Instalación del sistema fotovoltaico de inyección directa a red de potencia 22,240 kW	
El programa está compuesto por diferente cantidad de paneles de acuerdo a la potencia que se utilicen:	
Potencia Paneles	Cantidad
340 W	66
Los paneles de conexión a red serán las siguientes especificaciones:	
Potencia Nominal	340 W
Eficiencia módulo	17,9%
Tipo de Celda	Policristalina
Peso de panel solar	28,0 kg
Dimensiones	1978*992*6 mm
Marco del panel	Sin marco
Vida útil	30 años

**Fuente:** Autores, 2018

Según las especificaciones técnicas se estima una inversión de un valor \$46'838.837 distribuidos en los siguientes equipos e instrumentos a utilizar; asumiendo también la mano de obra directa de instalación, sin contar con el transporte de equipos como se observa en la **Tabla 25**.

**Tabla 25. Insumos asociados a la inversión de paneles solares**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Paneles 340 W/ 38 V	66	\$29'243.376,36
Eco 25.0-3-S 25000VA, Trifásico, WLAN/LAN/Webserve	1	\$11'112.483
Banco con contactor, braker selector y mano de obra.	1	\$1'000.000
Cable solar 6mm	1	\$483.100



DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Instalación Paneles Solares	1	\$4'999.878
<b>TOTAL</b>	-	\$46'838.837,36

Fuente: (Orozco, 2016)

### 11.3.1. Análisis beneficio-costo

Un análisis costo beneficio (ACB) consiste en hacer una revisión exhaustiva de los criterios de toma de decisiones de un proyecto; ya que resulta precisamente de hacer una verificación de los beneficios asociados a un proyecto descontando los costos asociados durante y la terminación del proyecto, determinando una comparación de la situación con y sin proyecto con el ánimo de descubrir y conocer el porcentaje de beneficio al implementarlo y en caso de que no se implementara (Sanabria, 2017).

Para realizar un análisis costo/beneficio de la implementación de esta tecnología se deben tener en cuenta ciertas generalidades en cuanto a la potencia de los paneles, horas de funcionamiento, costo por kW de San Miguel de Sema, dado por las tarifas que maneja el prestador de servicio de energía eléctrica EBSA, entre otras, con el fin de conocer el ahorro establecido por la implementación del sistema.

Para el municipio de San Miguel de Sema, se cuenta con un potencial de luz solar eficiente mayor a 5 horas, se asume un total constante de 5 horas de aprovechamiento a partir de 9:30 y 14:30 horas del día, tiempo en el que las temperaturas en todo el territorio nacional son bastante altas independientemente de la ciudad como se evidenció anteriormente en el mapa de radiación solar dado por el IDEAM, claro está, si el estado del tiempo y clima no alteran las condiciones normales de cada lugar.

#### ✓ Beneficio económico:

*Tabla 26. Costo total de la inversión*

Costo	Valor a 2018
Inversión total para 30 años (correspondiente a la vida útil de los paneles solares)	\$46'838.837,36
Costo anual de inversión	\$ 1'561.294,57

Fuente: Autores, 2018

\*Nota: El costo anual de la inversión es el resultado de dividir la inversión total en los 30 años de vida útil que tienen los paneles solares.

*Tabla 27. Costo de facturación energía eléctrica convencional*

Costo	Valor a 2018
Costo total facturación a 30 años	\$12'598.194 * 30 = \$377'945.820
Costo anual de facturación	\$ 12'598.194

Fuente: Autores, 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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváz Vanegas

\*Nota: El costo anual de facturación se halló teniendo en cuenta las tarifas por kW establecidas en la facturación de la Tabla 7.

**Tabla 28. Costo total inversión proyectado**

Año		Variación anual	Costo total de inversión proyectado a 30 años	Costo anual de inversión proyectado
1	2018	3,14%	\$46.838.837,36	\$1.561.294,57
2	2019		\$48.309.576,85	\$1.610.319,22
3	2020		\$49.826.497,57	\$1.660.883,24
4	2021		\$51.391.049,59	\$1.713.034,98
5	2022		\$53.004.728,55	\$1.766.824,28
6	2023		\$54.669.077,02	\$1.822.302,56
7	2024		\$56.385.686,04	\$1.879.522,86
8	2025		\$58.156.196,58	\$1.938.539,88
9	2026		\$59.982.301,16	\$1.999.410,03
10	2027		\$61.865.745,41	\$2.062.191,50
11	2028		\$63.808.329,82	\$2.126.944,32
12	2029		\$65.811.911,37	\$2.193.730,37
13	2030		\$67.878.405,39	\$2.262.613,50
14	2031		\$70.009.787,32	\$2.333.659,56
15	2032		\$72.208.094,64	\$2.406.936,47
16	2033		\$74.475.428,82	\$2.482.514,28
17	2034		\$76.813.957,28	\$2.560.465,23
18	2035		\$79.225.915,54	\$2.640.863,84
19	2036		\$81.713.609,29	\$2.723.786,96
20	2037		\$84.279.416,62	\$2.809.313,87
21	2038		\$86.925.790,30	\$2.897.526,33
22	2039		\$89.655.260,12	\$2.988.508,65
23	2040		\$92.470.435,28	\$3.082.347,83
24	2041		\$95.374.006,95	\$3.179.133,55
25	2042		\$98.368.750,77	\$3.278.958,34
26	2043		\$101.457.529,54	\$3.381.917,63
27	2044		\$104.643.295,97	\$3.488.109,85
28	2045		\$107.929.095,46	\$3.597.636,50
29	2046		\$111.318.069,06	\$3.710.602,28
30	2047		\$114.813.456,43	\$3.827.115,19

Fuente: Autores, 2018

\*Nota: El valor de variación anual, corresponde al promedio de la variación anual del IPC al mes de marzo de 2018, registrados por el DANE, en los últimos 3 años.

**Tabla 29. Costo de facturación proyectado**

Año		Variación anual	Costo anual de facturación proyectado
1	2018		\$12.598.194
2	2019		\$13.064.327,18
3	2020		\$13.547.707,28
4	2021		\$14.048.972,45
5	2022		\$14.568.784,43
6	2023		\$15.107.829,46
7	2024		\$15.666.819,15
8	2025		\$16.246.491,46
9	2026		\$16.847.611,64
10	2027		\$17.470.973,27
11	2028		\$18.117.399,28
12	2029		\$18.787.743,06
13	2030		\$19.482.889,55
14	2031		\$20.203.756,46
15	2032	3,70%	\$20.951.295,45
16	2033		\$21.726.493,38
17	2034		\$22.530.373,64
18	2035		\$23.363.997,46
19	2036		\$24.228.465,37
20	2037		\$25.124.918,59
21	2038		\$26.054.540,57
22	2039		\$27.018.558,58
23	2040		\$28.018.245,24
24	2041		\$29.054.920,32
25	2042		\$30.129.952,37
26	2043		\$31.244.760,61
27	2044		\$32.400.816,75
28	2045		\$33.599.646,97
29	2046		\$34.842.833,91
30	<b>2047</b>		\$36.132.018,76
<b>Total facturación en 30 años</b>			<b>\$672.181.337</b>

**Fuente:** Autores, 2018

\*Nota: El valor de la variación anual, corresponde al porcentaje de crecimiento de la tarifa entre febrero de 2017 y febrero de 2018.

Teniendo en cuenta los cálculos evidenciados en las **Tablas Nro. 26, 27, 28 y 29**, se realizó el cálculo del beneficio económico de la siguiente manera:

✓ **Beneficio neto en 30 años (BN30)**

**BN30 =** Total facturación proyectado 30 años- Costo total de inversión a 30 años proyectado

**BN30 =** \$672,181,337 - \$114,813,456.43 = **\$ 557,367,880.6** (Ahorro 82.91 %)

✓ **Beneficio Neto Anual (BNA)**

$$\text{BNA} = \text{BN}_{30/30} = \$ 557,367,880.6 / 30 \text{ años} = \$ 18,578,929.19$$

✓ **Relación Beneficio/ Costo**

$$\text{B/C} = \text{BNA} / \text{Costo anual de inversiones proyectado al año 30} = \$18,578,929.19 / \$3,827,115.19 = 4.85$$

**B/C > 1 implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es viable.**

## 12. Conclusiones

La industria ganadera lechera es uno de los sectores agrícolas que concentra consumos energéticos elevados y el impacto ambiental que genera también es importante. Estos consumos energéticos son abastecidos mediante fuentes de tipo convencional asociados a generación de gases de efecto invernadero. Por lo anterior, el diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red logra dar una posible solución para mitigar dicha problemática, mediante el uso de una fuente de energía renovable como lo es la solar. Para el estudio de caso Hacienda la Trinidad, específicamente en el proceso de ordeño del ganado se encontró que este proceso genera junto al proceso de enfriamiento un 30 a 40% del consumo total energético de la unidad productiva y este consumo genera costos económicos importantes, que se podrían disminuir con la implementación de un sistema fotovoltaico alimentado al proceso de ordeño industrial. El aprovechamiento de las energías renovables para la industria lechera es cada vez más frecuente, se encuentra usada es la energía solar como fuente para los procesos de lecherías a nivel nacional e internacional. Otras fuentes energéticas como biodigestores y sistemas mixtos (térmico fotovoltaicos) no son viables económicamente para pequeños y medianos productores como los sistemas ganaderos de la zona de estudio.

Se diseñó un sistema de paneles fotovoltaico interconectado a la red eléctrica local para Hacienda la Trinidad que consta de 66 módulos conectados en serie para generar una potencia nominal total de 22,240 kW/día que da abasto total a la demanda eléctrica que actualmente tiene el proceso de ordeño. Se propone implementar módulos fotovoltaicos de silicio policristalino de doble vidrio de marca TRINA SOLAR. Se concluye que es viable la implementación del sistema fotovoltaico pues se obtendría un Beneficio Neto en 30 años (vida útil del proyecto) del **82.91%** y una relación beneficio/ costo de **4.85**.

## 13. Recomendaciones

Cada unidad productiva lechera debe contar con un archivo completo de las facturas que se pagan mensualmente a la empresa de servicios públicos que provee de energía eléctrica para realizar un seguimiento continuo al consumo mensual de kW. Esto permite tener cifras exactas del consumo que se registran en estas facturas y comparar los beneficios implementando el sistema fotovoltaico que se diseñó en este trabajo.

Es altamente recomendable la inversión estimada que se establece en este trabajo, para realizar la transición hacia una producción más limpia a partir del aprovechamiento de energía solar renovable.

Generar acción de capacitación de los productores lecheros tomando como unidad análisis hacienda trinidad con el fin de estimular la transición hacia la utilización de energía solar en los procesos productivos.

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Estimular la creación de asociaciones con los empresarios y productores más cercanos para crear alianzas y soporte en el aprovechamiento de las estrategias de producción más limpia que permiten incrementar la competitividad y reducir costos operativos

Las entidades del estado deberían dar a conocer los resultados del estudio realizado para utilización de energía solar ya que representa beneficios económicos y ambientales que son incentivos para realizar esfuerzos financieros que justifican a mediano y largo plazo la inversión.

#### 14. Bibliografía

Alcaldía San Miguel de Sema. (17 de octubre de 2012). *San Miguel de Sema*. Obtenido de Nuestro municipio: <http://www.sanmigueldesema-boyaca.gov.co>

Agencia de protección ambiental, Ministerio de ambiente y espacio público. (s.f.). Guía práctica y estudio de casos producción más limpia. En G. C. Aires (Ed.), *Programa Buenos Aires produce más limpio* (pág. 32). Buenos Aires, Argentina.

Anónimo. (2015). *EnergíaSolar*. Obtenido de Historia de la energía solar: <http://www.energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>

Anónimo. (2015). *CNP*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de Artesanías en Residuos Sólidos: <http://poblacionvulnerablecnp.blogspot.com.co/2011/05/artesantias-en-residuos-solidos.html>

Aristizábal, J. & Gordillo, G. (2006). Desarrollo de estación de monitoreo para la evaluación integral del desempeño de sistemas BIPV usando instrumentación virtual. *MOMENTO*, (33), 34-48.

BALSAM, J. 2006. Anaerobic Digestion of Animal Wastes: Factors to Consider. National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA), National Center for Appropriate Technology (NCAT), United States Department of Agriculture's Rural Business-Cooperative Service [en línea] <[http://www.agmrc.org/media/cms/anaerobic\\_93C56B2DEF5EE.pdf](http://www.agmrc.org/media/cms/anaerobic_93C56B2DEF5EE.pdf)> [consulta: 10-04-2018]

Barbosa, U. Janett., & Mayorga, Manuel A., & Santamaría, S. Wilmar G., & García, R. David M. (2014). Iluminación con Energía Solar Fotovoltaica para autoservicios en Bogotá. *Ingenio Magno*, 81-94.

BioEnergía (Iniciativa Cluster). (2016). *Normatividad para las Energías Renovables en Colombia*. Cámara de Comercio Cali. Cali: Ritmo Cluster.

Cáceres, M (2012). Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo pecuario*, 8(1), 16-32.

Chamarravi, O., & Saavedra, G. (2013). Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá DC (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Bogotá).

Chamorro R, C, Tapias J, L. (2013). *Diseño de un programa de producción más limpia para el mejoramiento de los procesos productivos de la empresa C.V.P. Ingeniería LTDA. De la ciudad de Cartagena*. Obtenido de Tesis- Facultad de ciencias económicas: <http://jspui.com>.

Corona, I. (2007). Biodigestores, monografía del Instituto deficiencias básicas e ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Claudio A., Camilo A. (2010). Las Energías Renovables: la Energía Solar y sus Aplicación. *Revista Digital Universitaria UNAM*, 19.

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Congreso de Colombia. (03 de octubre de 2001). *Alcaldía de Bogotá*. Recuperado el 18 de 02 de 2018, de LEY 697 DE 2001: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=4449>

Congreso de la República. (16 de julio de 2013). *Secretaría Senado*. Recuperado el 18 de 02 de 2018, de LEY 1665 DE 2013: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1665\\_2013.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html)

Congreso de la República. (13 de mayo de 2014). *Secretaría Senado*. Recuperado el 16 de 02 de 2018, de LEY 1715 DE 2014: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, & Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Solar*. Argentina.

DANE. (13 de septiembre de 2010). *Boletín Censo General 2005*. Obtenido de Perfil - San Miguel de Sema - Boyacá: <http://www.dane.gov.co>

Díaz, M. (8 de marzo de 2016). Consumo de energía aumentó hasta en un 13% en hogares e industrias de Boyacá. *Caracol*, pág. 1.

Esmin, J. (18 de noviembre de 2011). *Sistemas de ordeño mecánico y manual*. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <http://ordenosparaagropecuaria.blogspot.com.co/2011/11/sistemas-de-ordeno-mecanico-y-manual.html>

Flores, W. (2013). Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el CP Chen Chen–Moquegua.

Garzón-Benavides, J. & López-Morán, J. M. (2008). Análisis de una alternativa de producción más limpia que permita aprovechar los residuos grasos que generan los procesos de pasteurización y enfriamiento de la leche en la empresa Friesland Lácteos Puracé de San Juan de Pasto. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el, 8.

Gobernación de Boyacá. (2016). *Gobernación de Boyacá - Secretaria de Salud*. Recuperado el 2018, de ANÁLISIS DE SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO DE LOS DETERMINANTES SOCIALES DE SALUD, BOYACÁ, 2016: <https://www.boyaca.gov.co>

Google Earth. (21 de febrero de 2017). *Google Earth*. Obtenido de San Miguel de Sema: <https://www.google.com/maps>

Google Maps. (18 de febrero de 2018). vereda Sabaneca. Chiquinquirá, Colombia.

Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. (2002). *Energía Solar Fotovoltaicas*. Madrid.

Garzón, J. & López J. (2008). Análisis de una alternativa de producción más limpia que permita aprovechar los residuos grasos que generan los procesos de pasteurización y enfriamiento de la leche en la empresa Friesland Lácteos Puracé de San Juan de Pasto. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el, 8.

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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváz Vanegas

Guerrero, M. A. (2012). *Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional "San Antonio" de Riobamba*. Recuperado el 2018, de Tesis de grado - Ingeniera mecánica: <http://www.usfx.bo>

González, A, Kafarov, V., y Guzmán Monsalve, A. (2009). Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. *Prospectiva*, 7(2).

Guzmán, T., Quiroz, G. & Araya, F., (s.f). Producción más limpia y eficiencia energética: caso del uso de la energía solar. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, 5, 1-25.

Hernández, T., Rodríguez, F., Badilla, G., & Ulloa, J. (2016). Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Tecnología en Marcha*, 30(5), 46-56.

Indio, C. (8 de julio de 2017). *Energía solar fotovoltaica puede crecer más de 300% até o fim do ano, diz setor*. Recuperado el 2018, de ProQuest: <https://proquest-com>.

Innova, I. (28 de mayo de 2014). *La importancia de las energías renovables y el medio ambiente*. Recuperado el 2018, de Ingeniería: <http://www.pagina66.com>

Ladino, R. E. (marzo de 2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*. Recuperado el 2018, de Tesis de maestría, Universidad Pontificia la Javeriana: <https://javeriana.edu.co/>

Márquez, J. G. (24 de octubre de 2012). *Generalidades de la Ganadería Bovina*. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de Producción de Bovinos de Leche: <http://generalidadesdelaganaderiabovina.blogspot.com.co/2012/10/produccion-de-bovinos-de-leche.html>

Ministerio de Educación. (2016). *Colombia una potencia en energías alternativas*. Recuperado el 15 de 2 de 2018, de Energía para toda la vida: <https://www.mineducacion.gov.co>

Ministerio de la Protección Social. (28 de febrero de 2006). Decreto Nro. 616 DE 2006. *Decreto Nro. 616 DE 2006*. Bogotá, Colombia.

Municipio de San Miguel de Sema. (2000). Esquema de ordenamiento territorial. 28 marzo de 2018, de Esap Sitio web: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sanmigueldesemaboyac%C3%A1eot2000.pdf>

POT. (2011). *Esquema de ordenamiento territorial municipio de San Miguel de Sema*. Recuperado el 2018, de Diagnóstico territorial: <http://www.funioespacial.com>

POT. (2004-2007). PLAN DE DESARROLLO 2004 – 2007 IDENTIDAD, HONESTIDAD Y TRABAJO PARA MEJORAR CALIDAD DE VIDA. San Miguel de Sema, Boyacá, Colombia. Obtenido de Fase de diagnóstico:



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

Cesar Augusto Aguilar García  
Ana María Narváez Vanegas

Pérez, J. D. (2014). *Evaluación de la oferta solar potencial para la producción de electricidad en zona rural del municipio de Sogamoso (Boyacá, Colombia)*. Recuperado el 2018, de Universidad de ciencias aplicadas y ambientales: <http://repository.udca.edu.co>

Rafael López-Luque, J. M. (28 de junio de 2017). Feasibility analysis and irrigation management in Mediterranean greenhouses using photovoltaic solar energy. *Revista Iberoamericana del Agua*, 4(2), 74-83.

Revista Energía. (11 de marzo de 2015). *Irrigación con energía solar transforma agricultura en Chile*. Recuperado el 2018, de Revista Energía: <http://www.revistaenergia.com/?p=4168>

Reyes, C. (17 de agosto de 2017). Un ejemplo de energía alternativa en Chiscas, Boyacá. *Extra Boyacá*, pág. 3.

Riquelme, M. (2016). *Diferencia entre eficacia y eficiencia*. Recuperado el 2018, de Eficacia: <https://www.webyempresas.com>

Salgado, R. (2015). PANELES SOLARES: GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *Revista de Divulgación SaberMás*, 22.

Sanabria, A. (2017). Análisis costo/beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en el hospital San Cristóbal (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

SUNCOLOMBIA. (26 de septiembre de 2016). Recuperado el 17 de 02 de 2018, de Normas en Colombia sobre energía solar: <http://www.suncolombia.com/normas-en-colombia-sobre-energia-solar/>

Tecnoláctea. (2009). Energía en los sistemas de producción lechera. 26 marzo de 2018, de Consorcio Lechero Sitio web: <http://www.consorciolechero.cl/tecnolactea/main-energia/>

T. Nacer, A. O. (6 de mayo de 2016). Feasibility study of grid connected photovoltaic system in family farms for electricity generation in rural areas. *ELSERVIER*, 96, 305-318.

Ministerio de Minas y Energía. (2018). *Decreto 0570/ 23 de marzo de 2018*.

TrinaSolar. (2016). Honey módulo TSM-PD05. *MonSolar*.

Generalitat de Catalunya. (2011). *Guía Práctica para el cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

Orozco, A. F. (s.f.). *Análisis costo/beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en la ese Hospital San Cristóbal*. Universidad Militar Nueva Granada., Especialización en Gerencia Integral de Proyectos., Bogotá.