



**Diseño de Propuesta de implementación de energía fotovoltaica en la finca  
floricultora Kimbaya en El Rosal, Cundinamarca**

Sebastian Pineda Hurtado

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
Año 2023

# **Diseño de Propuesta de implementación de energía fotovoltaica en la finca floricultora Kimbaya en el Rosal, Cundinamarca**

Sebastian Pineda Hurtado

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

Director: Jose Alfonso Avellaneda Cusaria

Línea de Investigación:  
Infraestructura sustentable

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2023

## **Nota de Salvedad de Responsabilidad**

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

**(Dedicatoria)**

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a todos aquellos que han contribuido de manera invaluable a la realización de esta tesis de ingeniería ambiental. Mi sincero reconocimiento va dirigido a mis profesores, cuyo compromiso y orientación han sido la brújula que guió mi investigación. Agradezco también a mis compañeros de clase por su apoyo y colaboración constante. Mi gratitud se extiende a mi familia y amigos, quienes han sido el pilar fundamental durante este desafío. Además, agradezco a todas las instituciones y personas que generosamente compartieron su experiencia y conocimientos para enriquecer este trabajo. Este logro no hubiera sido posible sin el respaldo incondicional de cada uno de ustedes. Gracias por ser parte esencial de este viaje hacia la excelencia en la ingeniería ambiental.

## 1 Tabla de Contenido

<b>4. Resumen.....</b>	<b>10</b>
<b>5. Abstract.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>7. Planteamiento del problema.....</b>	<b>12</b>
7.1 Pregunta de investigación.....	12
<b>8. Justificación.....</b>	<b>12</b>
<b>9. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
9.1 General.....	13
9.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>10. Marco de referencia.....</b>	<b>13</b>
10.1 Estado del arte.....	13
10.2 Marco teórico.....	16
10.3 Marco conceptual.....	17
10.3.1 Energía.....	17
10.3.2 Energía Solar.....	17
10.3.3 Energía Solar Fotovoltaica.....	17
10.3.4 Paneles solares.....	17
10.3.5 Inversores.....	18
10.3.6 Sistema híbrido.....	18
10.3.7 Sistema de almacenamiento de energía.....	18
10.4 Marco Geográfico.....	19
10.5 Marco Institucional.....	20
• Universidad El Bosque.....	20
• IGAC.....	20
• IDEAM.....	21
10.6 Marco Legal.....	21
10.6.1 Normativa Nacional.....	21
10.6.2 Normativa Internacional.....	22
<b>11. Metodología.....</b>	<b>23</b>
11.1 Método para objetivo específico 1.....	24
11.2 Método para objetivo específico 2.....	25
11.2.1 Evaluación de la demanda de Energía.....	25
11.2.2 Cálculos producción de energía.....	27
11.3 Método para objetivo específico 3.....	28
11.3.1 Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	29
11.3.2 Georeferenciación del área de estudio.....	30
11.3.3 Retornabilidad.....	31
<b>12. Resultados y Análisis.....</b>	<b>33</b>
12.1 Resultados del objetivo específico 1.....	33
12.1.1 Zona de estudio.....	33

12.2 Resultados del objetivo específico 2.....	42
12.2.1 Estudio de consumo de energía.....	42
12.2.2 Estudio de factibilidad.....	44
12.3 Resultados del objetivo específico 3.....	47
12.3.1 Análisis económica.....	49
12.3.2 Financiación.....	50
12.3.3 Análisis de aspectos ambientales (EIA).....	51
12.4 Análisis general.....	53
<b>13. Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
<b>14. Recomendaciones.....</b>	<b>54</b>
<b>15. Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>55</b>
<b>16. Anexos.....</b>	<b>62</b>

## 2 Listado de Tablas

<b>Tabla 1. Proyectos de producción de energía fotovoltaica en Colombia.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2, Metodología para el desarrollo del proyecto investigado.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 3. Radiación solar registrada y horas promedio por mes.....</b>	<b>38</b>
Tabla 4, Distribución de consumo energético en la finca.....	42
Tabla 5, Radiación solar, horas pico y consumo de energía caso de estudio.....	43
Tabla 6. Radiación solar registrada, número de horas pico y consumo de energía caso de estudio...	44
<b>Tabla 7. Presupuesto bancario para créditos verdes.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 8. Impactos ambientales del proyecto.....</b>	<b>51</b>

### 3 Listado de Figuras

<b>Figura 1. Tipos de radiación solar Fuente (HOGARSENSE, 2023).....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2. Tipos de paneles fotovoltaicos Fuente (Energías Renovables, 2014).....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3. Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca. Fuente (Autor).....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4. Logo de la Universidad El Bosque.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5. Logo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6. Logo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7. Diagrama de flujo de metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8. Radiación solar sobre una superficie inclinada.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 9. Estudio de factibilidad en un proyecto.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 10. Software AutoCAD.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 11. Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 12. Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13. Radiación solar registrada mes Enero y Febrero.....</b>	<b>34</b>
Figura 14. Radiación solar registrada mes Marzo y Abril.....	34
Figura 15. Radiación solar registrada mes Mayo y Junio.....	35
Figura 16. Radiación solar registrada mes Julio y Agosto.....	35
Figura 17. Radiación solar registrada mes Septiembre y Octubre.....	36
Figura 18. Radiación solar registrada mes Noviembre y Diciembre.....	36
Figura 19. Radiación solar promedio registrada.....	37
Figura 20. Mapa de la distribución eléctrica del centro de operaciones de la finca Kimbaya.....	40
<b>Figura 21. Trayectoria solar.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 22 Zona disponible para el proyecto.....</b>	<b>41</b>
Fuente (Autor).....	41
<b>Figura 23. Promedio de consumo horario.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 24. Distribución de los paneles solares en zona de estudio.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 25. Distribución de producción de energía mes a mes.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 26. Diseño de soporte de los paneles solares en AutoCAD.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 27. Diseño de soporte de los paneles solares.....</b>	<b>48</b>
Fuente (Autor).....	49
<b>Figura 28. Diseño distribución y soportes sistema propuesto.....</b>	<b>53</b>

#### **4. Resumen**

En el presente trabajo de grado se estudió una alternativa de implementación de energía renovable en la industria floricultora, dado a los altos consumos energéticos del sector productivo de flores de corte en Colombia, por medio de un sistema de captación de fotones de ayuda de sistemas de paneles solares para el aprovechamiento de la radiación solar como recurso renovable. Donde el caso de estudio se llevó a cabo en la finca floricultora Kimbaya, en el Rosal Cundinamarca, de modo que este sector del país es donde se encuentra la mayor parte de las industrias floricultoras y poder estudiar e identificar la factibilidad y viabilidad de un sistema interconectado entre la fotovoltaica y la red local del municipio. Como resultado se obtuvo una propuesta viable e implementable en la finca para la sustitución del 17% de energía alternativa y teniendo un método de fuente de energía renovable que contribuye con la disminución de gases de efecto invernadero y el cambio climático, cuidando y aprovechando los recursos naturales renovables.

*Palabras clave:* **Energías Renovables, Sistema interconectado, Energía fotovoltaica, Floricultora, Fotoperiodos lumínicos**

#### **5. Abstract**

In this degree work we studied an alternative for the implementation of renewable energy in the flower industry, given the high energy consumption of the productive sector of cut flowers in Colombia, through a photon collection system with the help of solar panel systems for the use of solar radiation as a renewable resource. Where the case study was carried out in the flower farm Kimbaya, in El Rosal Cundinamarca, so that this sector of the country is where most of the flower industries are located and to study and identify the feasibility and viability of an interconnected system between the photovoltaic and the local network of the municipality. As a result, a viable and implementable proposal was obtained in the farm for the substitution of 17% of alternative energy and having a renewable energy source method that contributes to the reduction of greenhouse gases and climate change, taking care and taking advantage of renewable natural resources.

*Keywords:* **(-Renewable Energies, Interconnected system, Photovoltaic energy, Floriculture, Photoperiod lighting).**

## 6. Introducción

Colombia es el principal país exportador de flores de corte en América, y el segundo a nivel mundial luego de Holanda como lo indicó el Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial (Cámara de comercio de Bogotá, 2015), contando con más de 6.500 hectáreas con flores de invernadero (Unión temporal agroplan, 2007), donde la gran mayoría de estos se presentan en el departamento de Cundinamarca 73% y el restante entre Antioquía, Boyacá y Risaralda (Cámara de comercio de Bogotá, 2015). Actualmente estas empresas floricultoras se especializan en la producción de rosas, clavel chrisantemum, pompón y gipsophyllia, donde estas tres últimas especies necesitan fotoperiodo lumínico lo que genera grandes cantidades de consumo energético proveniente de la red eléctrica Colombiana (Unión temporal agroplan, 2007), la cual es producida principalmente por el sector hídrico.

Las hidroeléctricas, es una fuente de energía con grandes controversias por su implementación, ya que a Colombia por su topografía y gracias al recurso hídrico con el que se cuenta se logra sacar provecho, generando casi un 70% de energía que abastece el país, siendo un gran ejemplo de desarrollo para Colombia (European Geosciences Union, 2018), pero casos como hidroituango y El Quimbo nos permiten identificar la magnitud de los impactos económicos, sociales y ambientales, donde solo la estructura del Quimbo provocó afectaciones a 11 mil hectáreas de bosque seco, junto a esto, esta fuente de energía es un causante de la pérdida de biodiversidad en el sector implementado, desplazamiento de las familias campesinas que al vivir de la agricultura de donde está ubicada la construcción, implica deforestar otro sector para la reubicación de sus cultivos (RICO, 2018).

Caso contrario de la implementación de energía fotovoltaicas, al ser un sistema de fácil adaptación al medio, permite ser instalado en infraestructuras como lo son, casas, bodegas, industrias, centros comerciales, y cualquier otra estructura en la que no le sea obstruido el paso de la radiación solar, ubicándolos en los techos de estos previos, al ser una fuente de energía renovable, esta no contribuye con la generación de gases de efecto invernadero, sin contribuciones al cambio climático por producción de energía, permitiendo ser implementado sin agotamiento a los recursos naturales (PEÑA GALLO et al., 2017), contando con autonomía donde no necesitará de un operador constante para la vigilancia del funcionamiento de las células fotovoltaicas, las cuales son las encargadas de la transformación de la radiación solar a energía aprovechable. La implementación de esta fuente energética resulta beneficioso para Colombia ya que es un país ubicado geográficamente cerca al Ecuador, lo cual le resulta fácil la captación de la radiación solar, donde el IDEAM nos provee un constante estudio de radiación solar en el país, mostrando que el municipio de Cundinamarca oscila entre los 4.0 y 4.5 KWh/m<sup>2</sup> (ideam, 2022). Siendo de gran beneficio esta cantidad de radiación, ya que permite ser aprovechado en gran magnitud, generando energía en cantidades aprovechables para la implementación en procesos industriales y agrícolas, como la floricultura.

Ya conociendo sus altos consumos de energía, esto le será de gran ayuda para la industria, ya que resulta ser una inversión inteligente, por que disminuirá el costo de producción, repercutiendo en beneficios económicos a largo plazo, y ayudando a la conservación del ecosistema, por el cambio de la fuente de energía convencional, por una fácil implementación de paneles solares en la infraestructura de la empresa floricultora, donde esta instalación le proveerán energía para sus procesos productivos.

## **7. Planteamiento del problema**

Cundinamarca al ser el departamento de Colombia con mayor cantidad de industrias floricultoras, produciendo flores como lo son, clavel chrysanthemum, pompón y gypsophyllia, las cuales necesitan un extenso foto-periodo lumínico en su producción (Unión temporal agroplan, 2007), generando un alto consumo de energía proveniente principalmente de hidroeléctricas, volviéndolo procesos insostenibles, teniendo en cuenta lo que repercute la implementación de represar un río, afectando recursos tanto naturales como sociales (Martin Fearnside, P. - 2019) Por lo tanto, el presente proyecto se basa en la problemática que genera el uso de energías convencionales de alto impacto ambiental.

### **7.1 Pregunta de investigación**

¿En qué magnitud teórica se disminuye el uso de energía convencional en la propuesta de implementación de energía fotovoltaica en la finca floricultora Kimbaya ubicada en el Rosal, Cundinamarca?

## **8. Justificación**

La energía es un bien necesario para la actualidad, siendo un recurso implementado para cualquier área y actividad, generando altas demandas de energía a nivel mundial, lo que ha conllevado a grandes fuentes energéticas, como lo son el uso de combustibles fósiles y las hidroeléctricas, las cuales suelen ser implementadas en gran escala, volviéndose fuentes convencionales en el que cogen más fuerza en el mercado, generando una baja implementación y estudio en otras fuentes de energías alternativas renovables, conllevando a uno de los principales problemas del uso de estas energías convencionales, volviéndose la principal fuente de energía a nivel nacional (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Las hidroeléctricas son las que abastecen en mayor porcentaje de energía local, repercutiendo en grandes afectaciones ambientales, sociales y económicos (Martin Fearnside, P. - 2019), por lo que de allí se empieza a buscar la implementación del desarrollo sostenible, presentando alternativas de un mejor uso de recursos renovables como un método de disminuir el uso de recursos naturales renovables de alto impacto ambiental representando una amputación ecológica en su implementación, así disminuyendo la degradación ambiental.

Partiendo de lo anterior, se llega a la necesidad de diversificar las fuentes energéticas, no convencionales, como lo son las energías renovables, como la energía eólica, fotovoltaica, entre otras, las cuales en la actualidad han cogido fuerza por su bajo impacto ambiental, debido a sus métodos de uso, dando una gran eficiencia como fuente de energía, teniendo en cuenta que la fotovoltaica a nivel de Colombia, resulta muy viable, esto se debe a la ubicación geográfica del país, permitiendo tener una mayor captación de radiación solar en comparación con algunos países europeos y de Norte América (Celsia, 2018).

Esta fuente de energía que lleva alrededor de 40 años en la industria productora de energía, tiene una baja eficiencia, a pesar de esto, en los últimos años, el diseño de la célula y el tipo han generado un aumento del 12% al 23%, siendo realmente alta para la actualidad, no solo esto, la potencia nominal también ha aumentado los vatios (W) de cada panel solar, lo cual refleja una menor necesidad de paneles solares, para cumplir con altas demandas de energía (Enel X, 2023). Teniendo en cuenta que estos paneles solares no tienen una vida útil mayor a 25-30 años, sin embargo, distintas empresas comercializadoras francesas certifican un aprovechamiento de hasta el 96% de los recursos de un panel solar, al igual lo afirma Nicolas Defrenne, consejero delegado de PV

CYCLE France (VEOLIA, 2017). Este aspecto merece ser estudiado con mayor detalle para la implementación de energía fotovoltaica en Colombia.

Por otro lado se encuentra la industria floricultora, en sus procesos productivos consume altas cantidades de energía para el desarrollo de productos florales. Colombia es el segundo país con mayor exportación de flores de corte en el mundo (Unión temporal agroplan, 2007), representando una de las grandes fuentes económicas a nivel nacional, ubicándose principalmente en el departamento de Cundinamarca, por tal razón este proyecto se enfoca en estudiar y realizar una propuesta donde se fomente el uso de energías renovables como lo es la energía solar, junto a la contribución al cumplimiento del ODS 7, garantizando la asequibilidad a una energía sostenible y no contaminante, al ODS 12, por medio de una producción más limpia, reduciendo el uso de energías convencionales no renovables y contaminantes.

## **9. Objetivos**

### **9.1 General**

Diseñar un sistema de producción de energía fotovoltaica detallado para la finca floricultora Kimbaya en El Rosal, Cundinamarca.

### **9.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las zonas óptimas para implementar el proyecto dentro de la finca.
2. Estimar los niveles de potencial de producción de energía fotovoltaica.
3. Construir un diseño óptimo de producción de energía fotovoltaica implementable.

## **10. Marco de referencia**

El siguiente marco de referencias se basa en plasmar los principios teóricos de producción de energía por medio de un sistema fotovoltaico, aplicado directamente en el área de estudio en donde se encuentra ubicada la finca floricultora kimbaya, la cual está presente en el municipio de Cundinamarca, por lo tanto se divide en el estado de arte, teórico, conceptual, geográfico, institucional y normativo, con el fin de definir los conceptos y teoría para sustentar el proceso de estudio que se realizó a lo largo de este proyecto.

### **10.1 Estado del arte**

Países como España y Alemania en las últimas dos década ha venido incursionando en la implementación de energías no convencionales renovables, las cuales han cogido mucha fuerza desde entonces, esto con el fin de darle cumplimiento al uso y las altas demandas energéticas, tanto en procesos industriales como de uso doméstico, lo que presenta grandes resultados muy satisfactorios, ya que por esta fuente se logra suplir una cantidad notoria del uso de energía convencional, estos dos países garantizaron la generación del 52% de su uso de energía proveniente de energía fotovoltaica (Rodríguez Zamora, 2017), desde entonces otros países han implementado este fuente de energía con gran potencial, datos de la agencia internacional de las energías renovables IRENA muestran que China para el 2021 género el 35,6% total de energía fotovoltaica con 254,3 gigavatios (GW), seguido por Estados unidos y Japón generando alrededor de 67 y 76 (GW) cada uno (Alusinsolar, 2022). Un año después China logró aumentar su producción cerrando el 2022 con 414,5 GW.

Limitando los estudios en Latinoamérica, se encuentran proyectos sumamente importantes, en distintos países latinos como lo es, Brasil, Chile, Perú y México, donde normativas apoyan el uso de energías fotovoltaicas, el Norte de Chile con su proyecto Calama Solar 3, se estima una generación no menor de 2,69 GW anuales, Perú en su parque fotovoltaico generando 20 MW y en México, generando 650 MW en su planta solar-térmica (Suelo solar, 2014). En Colombia también se encuentra involucrado en la generación de energía renovable, como la empresa Enel ha venido desarrollando e implementando en distintos departamentos del país, una de ellas es el proyecto en curso del parque solar Guayepo, donde tendrá un área de 1.110 Ha, convirtiéndola en el más grande de Colombia y Sudamérica, se estima que tendrá la capacidad de generar 486,7 MWdc (Enel, 2022). De igual forma tenemos a Celsia, en el Yumbo, Valle del Cauca ya operando, con más de 35000 paneles solares generando alrededor de 9,8 MW (Celsia, 2017), sin embargo Colombia sigue siendo uno de los países con menor generación de este tipo de energía (Catorce6, 2021) sin embargo, tiene diversos proyectos en curso que cambiaran las cifras, a favor de la producción de energía por medio del aprovechamiento de energía solar, en la siguiente tabla se encuentran algunos de estos proyectos en curso en territorio nacional (Editorial La República S.A.S., 2023).

**Tabla 1.** Proyectos de producción de energía fotovoltaica en Colombia

<b>Proyecto</b>	<b>Promotor</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Departamento</b>
Autog Celsia Solar Yumbo	Celsia	9,8 MW	Valle del Cauca
Bayunca 1	Egal	3 MW	Bolivia
Bosque Solar de los Llanos 1	Trina	19,9 MW	Meta
Bosque Solar de los Llanos 2		19,9 MW	
Bosque Solar de los Llanos 3		19,9 MW	
Bosque Solar de los Llanos 4		19,9 MW	
Bosque Solar de los Llanos 5		17,9 MW	
Buga 1	Celsia	9,9 MW	Valle del Cauca
Cabresteros	Parex	3 MW	Casanare
Camelo	Celsia	9,9 MW	Valle del Cauca
Celsia Solar Bolívar	Celcia	8 MW	Bolívar
Celsia Solar Espinal	Celcia	9,9 MW	Tolima
Cerritos	Grenergy	9,9 MW	
Delphi Helios	Ebsa	67 MW	César
Flandes	Celsia	19,9 MW	Tolima
GR Parque Solar Tucanes	Grenergy	9,9 MW	Bolívar

Granja solar energía de Pereira	Empresa de Energía de Pereira S.A. ESP	5 MW	Risaraldas
La loma Solar	Enel	170 MW	César
La Medina	Grenergy	9,9 MW	Tolima
La Paila	Celsia	9,9 MW	Valle del Cauca
La Sierpe Solar	Aages	19,9 MW	Casanare
Los Caballeros	Grenergy	9,9 MW	Tolima
Llanos 34	Geopark	9,9 MW	Casanare
Melgar	Celsia	9,9 MW	Tolima
Palmira 3		9,9 MW	Valle del Cauca
Parque Fotovoltaico Montelibano Solar	Grenergy	9,9 MW	Córdoba
Pétalo de Córdoba	GreenYellow	9,9 MW	
Puerto de Cartagena	Puerto de Cartagena	2,2 MW	Bolívar
San Felipe	Celsia	9,9 MW	Tolima
San Fernando	ECP	61 MW	Meta
Since	Termotasajeros Dos	19,9 MW	Sucre
Sol de Inirida	Celsia	2,2 MW	Guainía
Solar Castilla ECP	ECP	20 MW	Meta
Termotasajeros Dos Solar	Termotasajeros Dos	4 MW	Norte de Santander
Tuluá	Celsia	13,3 MW	Valle del Cauca
Yuma		9,9 MW	Tolima

## 10.2 Marco teórico

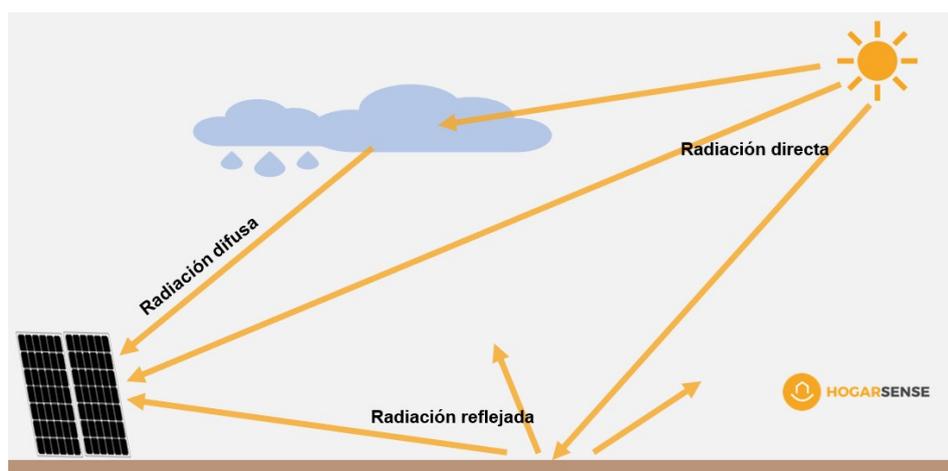
El marco teórico de este trabajo se tiene como hilo conductor la energía suministrada por energía fotovoltaica proveniente de la radiación solar, ya que es un tipo de energía considerada como permanente, partiendo de lo anterior se analizó los componentes y variables que explican las características de esta energía y su captación para la generación de energía eléctrica.

La energía se puede ver reflejada en distintas maneras para realizar diversas actividades, siendo presente en forma de luz, calor, movimiento, entre otros, la cual conlleva a una alta demanda de la misma, por lo que aparece la producción de ella en diferentes fuentes energéticas, las más comunes

son, la quema de combustibles fósiles, hídrica, solar, eólica, reactivos de minerales, las cuales son conocidas como energías primarias (Repsol, 2023), algunas de estas fuentes de energía se han implementado en grandes escalas llegando a generar complicaciones ambientales, una de ellas es el calentamiento global, la cual los gases de efecto invernadero producidas por el uso y quemados de combustibles fósiles han ocasionado (Languages, n.d.). Desde la presencia de estas graves causas se empieza a incursionar en la implementación de energías renovables, donde su principal característica es la generación de energía minimizando el uso de recursos naturales no renovables, por lo tanto minimiza el impacto ambiental que genera el mismo (Unidas, 2022). Una de estas fuentes de energía es la solar, esta es categorizada como la principal fuente de energía en la tierra (Lucia, n.d.), de igual forma es la energía que provoca la mayor parte de energías renovables, ya que es la generadora del movimiento de los vientos y agua, hace crecer las plantas por medio de la fotosíntesis, es de aquí donde nace la producción de energía eólica, marítima y biomasa al igual que su producción directa por la radiación solar (Pazmiño, 2019).

Esta radiación solar se caracteriza en tres tipos de radiación (HOGARSENSE, 2023).

- Radiación directa: Esta radiación contiene la mayor parte de energía, ya que no presenta ninguna intervención al ingresar a la atmósfera
- Radiación difusa: Esta presenta una intervención generadora de desviación, como lo puede ser la nubosidad, polución o partículas.
- Radiación reflejada: Es aquella radiación que ya chocó con una superficie en la tierra, lo cual se genera un rebote o reflejo de la misma



**Figura 1.** Tipos de radiación solar Fuente (HOGARSENSE, 2023)

Entre los métodos de aprovechamiento de este tipo de energía se encuentra la fotovoltaica, este método consiste en la captación de la radiación solar para someterlo a un proceso de transformación a energía eléctrica (Méndez, J., & Cuervo, R., 2007), este proceso se lleva a cabo en un módulo fotovoltaico, la cual contiene células que se encargan en convertir los fotones captados en electricidad, por medio de silicio monocristalino, silicio policristalino o silicio amorfo que se encuentran dentro de unas celdas solares (Pazmiño, 2019). Una vez convertida en energía eléctrica se transporte a un almacenamiento de energía o se puede tener un sistema interconectado a la red, siendo una conexión híbrida entre la dos fuentes de energía, como lo es la producción por paneles solares y la red local de distribución, esto consiste en inyectar la energía producida y no consumida por los paneles solares para un uso y aprovechamiento por las comunidades aledañas (Energy, 2022).

## 10.3 Marco conceptual

### 10.3.1 Energía

La **energía** es considerada como la capacidad que tienen los cuerpos para realizar trabajos o cambios en otros cuerpos o en ellos mismos (Endenesa, 2022), estas energías se pueden originar de distintos medios, ya sea de manera natural o forzada, Las energías naturales o también conocidas como **energías primarias** son las que provienen de los recursos naturales tales como el viento, sol, agua, calor, biomasa, combustibles fósiles y minerales radiactivos, estos recursos son transportados, almacenados y transformados para su consumo como energía final.

### 10.3.2 Energía Solar

Este tipo de energía es la proveniente del sol, se presenta por medio de la **radiación solar**, esta es una radiación electromagnética generada por la reacción del hidrógeno en el núcleo del sol (IDEAM, 2023), tal radiación se puede aprovechar de dos formas principales, como energía térmica por medio del calor, y como **energía fotovoltaica** (REPSOL, 2023)

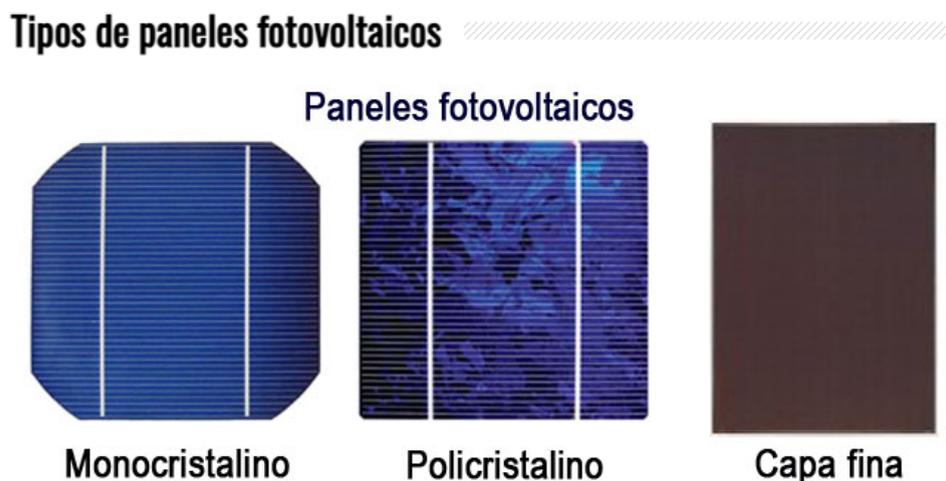
### 10.3.3 Energía Solar Fotovoltaica

Este es el foco primario de aprovechamiento en el presente proyecto, consiste en captar los fotones de la radiación solar, para someterla a un proceso de transformación y entregarla como energía eléctrica, la cual es el tipo de energía que se busca producir.

Para lograr el proceso de transformación, se debe captar la radiación solar por medio de **paneles solares** y realizar la convección de energía por medio de **inversores** (Méndez, J., & Cuervo, R., 2007).

### 10.3.4 Paneles solares

Como se mencionó anteriormente, los paneles son los encargados de captar la radiación solar, exactamente los fotones dentro de la energía solar, entregando corriente continua. La cantidad de corriente producida por los paneles estará muy determinada por la composición del panel solar.



**Figura 2.** Tipos de paneles fotovoltaicos Fuente (Energías Renovables, 2014)

Estos son los principales tipos de paneles solares, donde el monocristalino es quien ha demostrado mayor eficiencia en condiciones de laboratorio, seguido del policristalino y por último, la capa fina.

### **10.3.5 Inversores**

Los inversores reciben la corriente continua producida por los paneles solares, es aquí donde se realiza la transformación en corriente alterna, donde depende de la corriente continua suministrada por el panel para la entrega de kilovatios hora kWh, este tipo de energía es la consumida en el proceso productivo (Soty solar, 2022).

### **10.3.6 Sistema híbrido**

Este sistema consiste en proveer energía de dos o más fuentes energéticas, en este caso, se tendrá en cuenta la fuente de energía convencional, suministrada por red local de una empresa energética del sector, y la segunda, es el sistema de paneles solares, el beneficio que tiene este tipo de sistema híbrido es la diversificación, y disminución de dependencia de una sola fuente de energía. así como un sistema de paneles solares, en temporadas ideales puede suministrar el 100% de energía para autoconsumo, en temporadas de lluvia, este mismo sistema disminuye su producción y necesitaría de una segunda fuente energética.

### **10.3.7 Sistema de almacenamiento de energía**

Un sistema de almacenamiento de energía no resulta obligatorio para un sistema de paneles solares, sin embargo, resulta beneficioso la capacidad de almacenar energía en tiempos ideales, donde la producción de energía es mayor a la consumida, para que en tiempos de baja producción y altos consumos, se tenga como respaldo esta energía almacenada.

En este caso, no se tendrá en cuenta un sistema de almacenamiento, ya que juega un papel en contra del bienestar ambiental, ya que estas baterías suelen ser de litio o plomo, y una vez cumplido su ciclo de vida, la batería se dispone como residuo peligroso y llega a disposición final, cortando su vida útil, y generando mayor contaminación.

## **10.4 Marco Geográfico**

El Municipio del Rosal se encuentra ubicado en las coordenadas 4°51'16" de latitud Norte y 74°15'39" de longitud oeste, en la región central de Colombia, Cundinamarca, a una altura de 2.685 metros sobre el nivel del mar (M.S.N.M.), cuenta con una extensión de 8942 Ha, cuenta con un relieve por El Cerro, la Piñuela, Cerro Camacho y Cerro del Oso, estas tierras son útiles para la práctica cultivos, pastoreo, sistemas agroforestales y de uso forestales (Gobierno de Cundinamarca, 2022).

Cuenta con una temperatura promedio de 13°C, oscilando entre los 20°C los días despejados y alcanzando hasta los 5°C los más nublados, donde los meses Abril, Mayo, Octubre y Noviembre son los meses con mayor precipitación y cuenta con un promedio de 12-12,5 horas de luz solar (NCEI, 2022), esto se debe a su ubicación geográfica, estando cerca de la línea del Ecuador, esto también indica que dos veces al año el sol se posiciona de manera que generara una radiación casi perpendicular, lo cual resulta útil para el proyecto, ya que fomenta la captación de la radiación solar.

Es aquí donde se encuentra la finca floricultora Kimbaya, cuenta con un aproximado de 22 Ha como se logra evidenciar en la figura 2. Donde la mayor parte de la finca se encuentran invernaderos de flor de corte, al igual que el alrededor de la finca, demostrando la gran magnitud y

expansión que tiene la floricultura en el municipio, convirtiéndose en la principal fuente económica de la zona con una cobertura del 69% destinadas para cultivos y tan solo el 5% de zona urbana.



**Figura 3.** *Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca. Fuente (Autor)*

### **10.5 Marco Institucional**

En cuanto a las instituciones que aportan y les conviene la generación de este proyecto, se encuentra en tres principales áreas, quienes están interesadas en el desarrollo del mismo, instituciones informativas y la reglamentaria, quien validará el cumplimiento normativo del proyecto y dará el aval para el desarrollo.



- **Universidad El Bosque**

Es la institución encargada de dar un apoyo y guía en el proceso investigativo del proyecto, contribuyendo con recursos académicos necesarios para la elaboración y ejecución del mismo, adicional es la institución que validará el planteamiento del proyecto en la etapa de factibilidad y pre factibilidad, por lo que le dará reconocimiento y credibilidad, además, se identificará alineación con valores y objetivos del proyecto con la institución .

**Figura 4.** Logo de la Universidad El Bosque



- **IGAC**

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC resulta siendo una de las instituciones proveedoras de información importante, ya que por medio de las capas de información geográfica como lo son la radiación solar, temperatura, entre otras capas que resultan de suma importancia para la ejecución del proyecto con datos acertados, son los que permiten los cálculos adecuados para la propuesta óptima que se plantean, dando la facilidad de un previstamiento de la zona sin necesidad de haber estado en el lugar de estudio, claramente se deberá corroborar y complementar con el estudio de la zona, pero aun así facilita una previa investigación.

**Figura 5.** Logo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC



- **IDEAM**

El IDEAM juega un papel importante como instituto que estudia distintas áreas ambientales por lo que funciona como data histórica para tener un análisis más acertado del comportamiento de las condiciones geográficas que se presentan en el área de estudio, el cual resulta siendo relevante para los cálculos de producción de energía en el sistema fotovoltaico.

**Figura 6.** Logo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales



## **10.6 Marco Legal**

Resulta de gran importancia para el proyecto tener claridad de las normas que lo rigen, ya que estas no solo resultan siendo reglamentarias, sino que también trae beneficios para la empresa y proyecto, teniendo claridad y certeza, un adecuado manejo normativo permite tener un proyecto beneficioso y productivo, en este caso, se tienen en cuenta tanto normas nacionales como internacionales, teniendo en cuenta que el producto de este sector industrial es comercializado a nivel mundial, por lo que puede llegar a contar con beneficios por buenas prácticas ambientales.

### **10.6.1 Normativa Nacional**

- **Código Nacional De Recursos Naturales Renovables Y De Protección De Medio Ambiente:** Declara la importancia del adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, siendo un patrimonio nacional que todos debemos velar por la conservación, mejoramiento y restauración, adicionalmente, menciona que al realizar estas prácticas, el gobierno establecerá incentivos monetarios.
- **Ley 697 de 2001:** Provee los lineamientos de uso racional, junto a promover el uso de energías que se implementarán en el proyecto.

- **CONPES 3700 de 2011:** Se presentan las estrategias que pueden ser aplicadas en el proyecto, como la inyección de energía a la red, contribuyendo en las estrategias planteadas para la contribución de acciones en materia de cambio climático en Colombia.
- **Ley 1665 de 2013:** Se menciona la importancia de la implementación de las energías renovables, como medida de mitigación a la producción de gases de efecto invernadero, las cuales es una de las finalidades que tiene el proyecto, la sustitución de energías convencionales por alternativas.
- **Ley 1715 de 2014:** Promueve el uso de energías renovables por medio de beneficios tributarios, también conlleva a un uso de energía segura y eficiente.
- **Decreto 2469 de 2014:** Establece los lineamientos que se deben seguir en caso de generar mayor energía a la del autoconsumo.
- **Resolución (UPME) 281 de 2015:** Fija la capacidad máxima de potencia que se permite producir, en la generación de baja escala.
- **Resolución (CREG) 024 de 2015:** Fija la capacidad máxima de potencia que se permite producir, en la generación a gran escala.
- **Decreto 1285 de 2015:** Permite identificar los parámetros a seguir para la implementación de energía renovable en el proyecto.
- **Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 2016 :** Se encuentra registrado los requisitos para la certificación de beneficios ambientales, y poder aplicar para los beneficios tributarios y demás ayudas que brinda el gobierno.
- **Resolución 030 de 2018 (CREG):** Establece los requisitos necesarios para hacer parte del AGPE los cuales son Auto generadores a Pequeña Escala.
- **Ley 1981 de 2018:** Promueve un desarrollo con bajas emisiones de carbono, por medio de la transición a una economía competitiva y sustentable.
- **Plan Energético Nacional - Ideario Energético 2050:** Por medio del mismo se permite identificar la importancia y correcto aprovechamiento de la energía renovable en el sector.
- **Normas Técnicas Colombianas (NTC):** Las normas técnicas colombianas permiten tener una mejor imagen de los pasos y condiciones que se debe tener para la implementación de paneles solares.

### 10.6.2 Normativa Internacional

- **Protocolo de Gases de Efecto Invernadero 2014:** Por medio de esta normativa se permite identificar la generación de carbono que se está liberando, entre otros gases de efecto invernadero GEI..

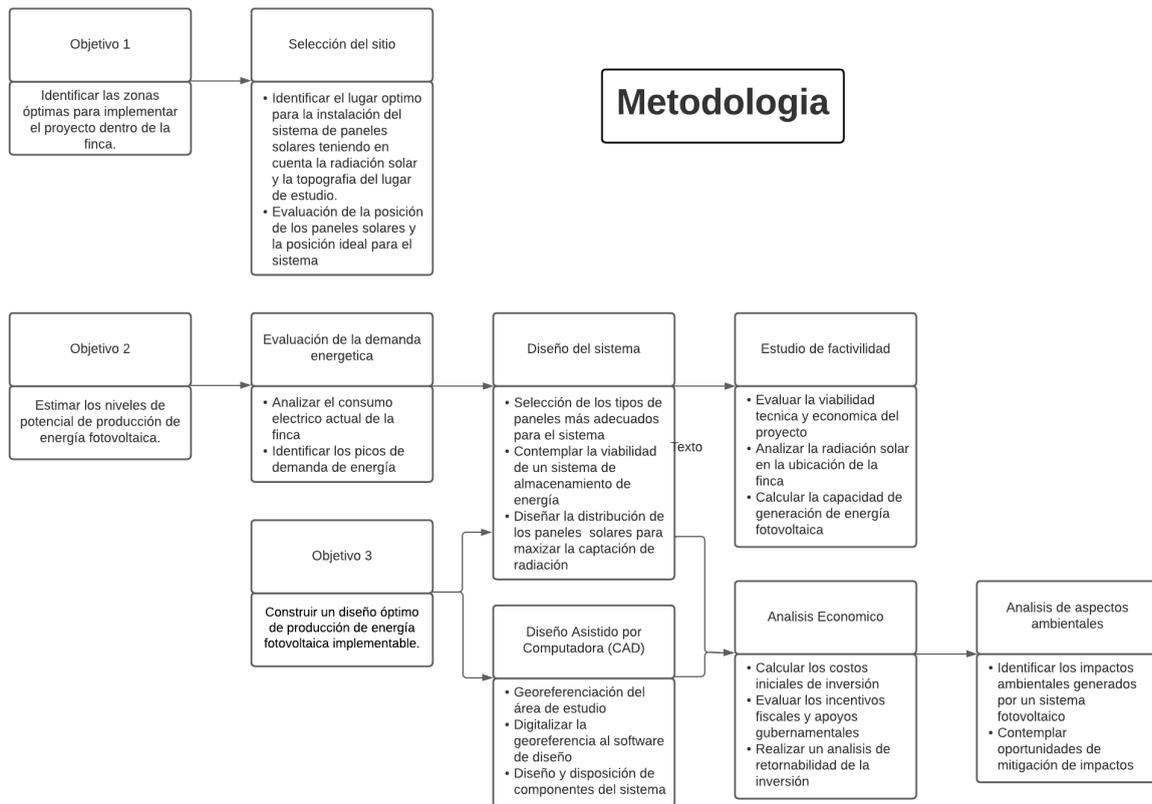
- **Carta Internacional de la Energía 2015:** Permite situar el mercado agricultor como uno sostenible, por medio de la implementación de energía segura y cuidado ambiental en la producción.
- **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 24):** Identificar nuevas medidas de disminución de GEI, la cual va ligado con el proyecto por medio de la producción de energías limpias.

## 11. Metodología

La metodología que se realizó para el diseño de la propuesta de implementación de energía fotovoltaica en la finca floricultora Kimbaya se dividen en fases tanto investigativas, revisión en campo y cálculos numéricos, realizando una revisión bibliográfica de los sistemas fotovoltaicos, con el fin de comprender el funcionamiento del sistema, las normativa presente en el país y las necesidades para su implementación, tales necesidades son las que se tuvieron en cuenta al momento de identificar la zona en campo, al analizar las condiciones iniciales de la finca floricultora. El diagnóstico inicial que se llevó a cabo en la zona de estudio contempló características geográficas como, lluvia y radiación solar al igual que las condiciones de consumo energético

Una vez identificada las condiciones iniciales de la zona de estudio, se realiza una investigación de producción de los paneles, enfocando la capacidad de la finca y las necesidades de la industria, ya con estas características se logra limitar los paneles que tienen capacidades sobresalientes bajo las condiciones presentadas. Eligiendo el panel con mejor cumplimiento teórico, se comienza el cálculo y análisis de producción, tal análisis considera el espacio apto para el desarrollo del proyecto. Limitando y aterrizando la capacidad de implementación se logra determinar la cantidad de paneles implementables, dando apertura al estudio de costos y factibilidad del proyecto.

**Figura 7. Diagrama de flujo de metodología**



### 11.1 Método para objetivo específico 1

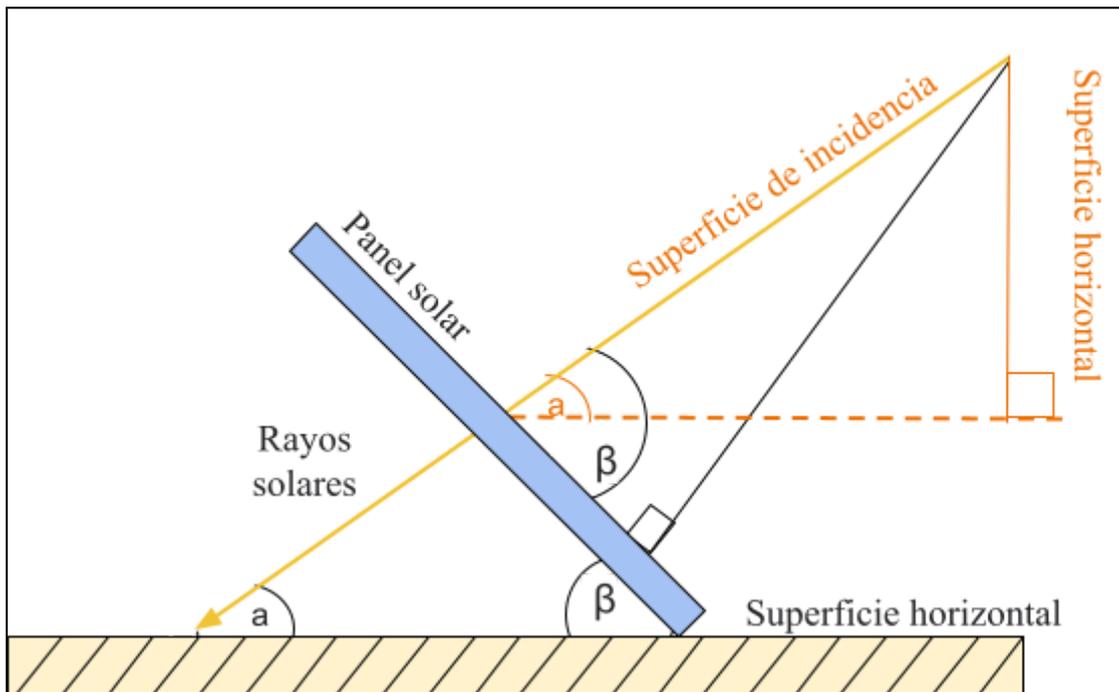
Este método implica “Identificar las zonas óptimas para implementar el proyecto dentro de la finca”. Las zonas óptimas dentro de una finca para la implementación de un proyecto de paneles solares, se inicia con un análisis del terreno. Esto implica una evaluación de la topografía para discernir áreas con la inclinación adecuada y la exposición al sol, excluyendo aquellas propensas a factores adversos como inundaciones o erosión. Paralelamente, se lleva a cabo un estudio de insolación, aprovechando datos históricos y simulaciones para determinar las áreas con la máxima exposición solar durante todo el año (Wicaksana & Rachman, 2018).

Dicho lo anterior, el análisis de la topografía es donde se realiza un levantamiento del terreno a partir de tecnologías avanzadas como Google Earth, para obtener un mapa detallado que muestra las variaciones del relieve. Además, se buscan áreas con una inclinación favorable que promueva la captación máxima de luz solar directa durante las horas pico, lo que es esencial para el rendimiento óptimo del sistema.

Es importante mencionar, que la inclinación óptima de los paneles solares es un factor determinante para la eficiencia de un sistema fotovoltaico y se calcula con especial atención a la ubicación geográfica de la finca en relación con la línea del ecuador (Babatunde et al., 2023). La regla general para la inclinación de los paneles es que debería ser aproximadamente igual a la latitud del lugar de instalación, lo que permite maximizar la captación de la energía solar directa a lo largo del año (Mausam et al., 2023). En las latitudes más cercanas al ecuador, los paneles pueden requerir una inclinación menor, ya que el sol se encuentra alto en el cielo durante todo el año. A medida que la

finca se ubica más lejos del ecuador, hacia los polos, la inclinación debe aumentar para compensar la menor altura del sol en el horizonte. Esta precisión en la inclinación es relevante para optimizar el ángulo de incidencia de la radiación solar, lo cual impacta directamente en la cantidad de energía que los paneles pueden generar (Katepalli et al., 2023). Por tanto, en el proceso de diseño, se lleva a cabo un análisis de la latitud específica de la finca y se ajustan los parámetros de inclinación para alinearlos con las condiciones solares ideales de esa localización, asegurando así la máxima eficiencia del sistema fotovoltaico a lo largo de todo el año (Yang et al., 2018).

**Figura 8.** Radiación solar sobre una superficie inclinada.



Fuente: (Anandas & Artecona, 2022).

Por otra parte, el estudio de insolación se lleva a cabo utilizando datos históricos de radiación solar que pueden ser proporcionados por estaciones meteorológicas locales o bases de datos internacionales. Estos datos son complementados con simulaciones computarizadas que proyectan las trayectorias solares a lo largo de diferentes épocas del año, lo cual es vital para prever la variabilidad estacional en la producción de energía (Hao et al., 2023). Las simulaciones también ayudan a identificar y minimizar el impacto de las sombras proyectadas por estructuras permanentes y vegetación, las cuales pueden reducir significativamente la eficiencia de los paneles durante ciertas horas del día (Govindasamy & Kumar, 2023).

## 11.2 Método para objetivo específico 2

### 11.2.1 Evaluación de la demanda de Energía

La evaluación de la demanda de energía es una etapa fundamental en la planificación de un sistema de energía solar, importante para garantizar que la capacidad del sistema esté perfectamente alineada con las necesidades específicas de la finca. Este análisis comienza con la recopilación y el examen minucioso de registros históricos de consumo de energía, lo que permite no solo entender los patrones de uso actuales sino

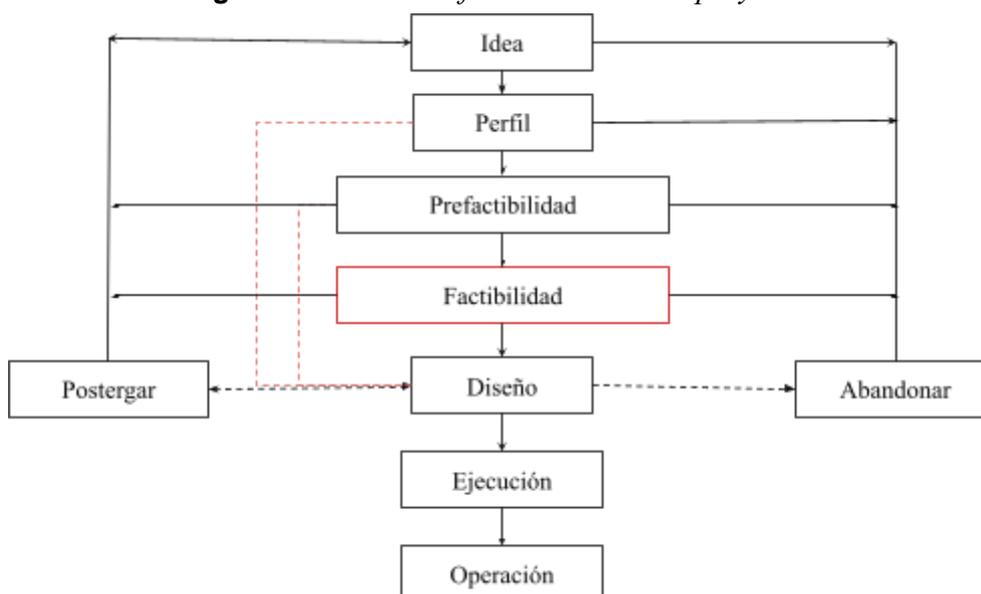
también identificar tendencias y variaciones estacionales (El-Desoky et al., 2023). Se estudian las facturas de energía para determinar los ciclos de alta y baja demanda, y se realizan mediciones directas del consumo de los equipos más críticos para obtener una imagen precisa de los requisitos energéticos (Bouhal et al., 2020).

Se realiza un análisis pormenorizado del consumo de energía, enfocándose específicamente en los registros de los últimos seis meses. Este periodo de tiempo fue seleccionado para obtener una comprensión actualizada y relevante del uso energético, abarcando varias estaciones para una representación más precisa de las fluctuaciones estacionales y las variaciones en la demanda. Se revisaron meticulosamente las facturas de energía eléctrica, extrayendo el consumo promedio mensual y, mediante una desagregación de estos datos, se estableció un perfil de carga detallado (El-Desoky et al., 2023).. Así mismo, se identificaron las horas de mayor demanda energética, conocidas como las horas pico, fue un componente clave de esta evaluación. Este análisis permitió resaltar los períodos críticos del día en los que el consumo se eleva significativamente, lo que es de suma importancia para la conceptualización del sistema fotovoltaico (Yang et al., 2018). Reconociendo estas horas pico, podemos dimensionar adecuadamente la capacidad del sistema, no solo para cubrir el consumo promedio, sino también para asegurar la disponibilidad de energía durante estos periodos de alta demanda, lo cual es relevante para evitar déficits energéticos que puedan interrumpir las operaciones de la finca (Banik & Ganguly, 2017).

### **11.2.2 Evaluación de la factibilidad**

La evaluación de la factibilidad es un paso crucial en la planificación de cualquier proyecto de energía solar, ya que determina si el proyecto es técnicamente y económicamente viable. Desde una perspectiva técnica, se examina la tecnología disponible de paneles solares, sistemas de montaje, inversores y equipos relacionados para asegurarse de que son adecuados para las condiciones del sitio y las expectativas de rendimiento (Pereira et al., 2023).. Se comparan distintas configuraciones y tipos de sistemas para encontrar la solución más efectiva y se tienen en cuenta las innovaciones recientes en la tecnología fotovoltaica que podrían ofrecer beneficios adicionales en términos de rendimiento y durabilidad (Khare et al., 2019).

**Figura 9.** Estudio de factibilidad en un proyecto.



Fuente: (Wicaksana & Rachman, 2018)

En el ámbito económico, se realiza una proyección financiera que incluye la estimación de costos de instalación, operación y mantenimiento, así como el análisis de flujos de caja y el cálculo del retorno de la inversión. Se consideran incentivos gubernamentales, subsidios, y la posibilidad de créditos fiscales o tarifas de alimentación que pueden mejorar la viabilidad económica del proyecto. Además, se evalúan las opciones de financiamiento disponibles, identificando las que mejor se adaptan a las necesidades y capacidades de inversión de los interesados.

### 11.2.2 Cálculos producción de energía

Para comenzar dichos cálculos de producción de energía se debe determinar el panel solar con mejor eficiencia y mayor capacidad de producción de vatios (W), con el fin de garantizar la mayor producción de energía en menos área, una vez ya seleccionado el panel e identificado las condiciones de la zona de estudio, se cuantifica la potencia nominal ( $W_p$ ) teórica del panel por medio de la multiplicación de la Radiación Solar media (RS) de la zona, Área del Panel solar ( $A_p$ ) y la Eficiencia del panel (EF) seleccionado para implementar (Albasolar, 2022), como se identifica en la ecuación 1.

**Ecuación 1. Cálculo de potencia nominal en el área de estudio**

$$W_p = RS * A_p * EF$$

Una vez determinada la potencia nominal ( $W_p$ ) del panel, se continúa con el cálculo de la producción de energía por panel ( $E_p$ ), siendo el producto de la multiplicación de la potencia nominal ( $W_p$ ) por las horas pico (h) de la zona de estudio (IDES Energy, 2023), el producto resulta expresado en Wh/día, se divide 1000 para tener una cifra más manejable expresada en kWh/día.

**Ecuación 2. Energía producida por panel solar al día**

$$E_p = (W_p * h) / 1000$$

En segunda instancia, en el área de estudio se determina el área apta para la implementación de los paneles solares, cumpliendo las necesidades y dándole el orden e inclinación adecuada para masificar la producción de energía en los paneles. Una vez determinado el área, se puede calcular la cantidad de paneles ( $N_p$ ) que se pueden colocar, distribuyendo el área disponible ( $A$ ) entre el área de los paneles y las zonas necesarias para el mantenimiento de los paneles solares.

Se continua con la cuantificación de energía total ( $E_t$ ) que producirán la cantidad de paneles aptos para implementar, este resultado se obtiene por medio del producto de la multiplicación del número de paneles ( $N_p$ ) por la energía producida por panel ( $E_p$ ) plasmado en la ecuación 3.

***Ecuación 3. Energía total producida***

$$E_t = N_p * E_p$$

Teniendo en cuenta que esta energía total calculada es por día, se realiza la conversión a energía total por mes, para poder comparar con el consumo mensual de energía, se multiplica el producto ( $E_t$ ) por un promedio de 30 días mensuales.

***Ecuación 4. Producción de energía mensual***

$$E_t / \text{mes} = E_t / \text{día} * 30$$

Una vez cuantificada la cantidad de energía producida al mes con los paneles, se puede comparar con el consumo mensual para determinar el cumplimiento (%C) de la demanda energética de la finca, para eso se multiplica la energía total producida al mes ( $E_t$ ) por 100, dividido en la cantidad de energía consumida al mes (C.E.)

***Ecuación 5. Cumplimiento de la demanda energética***

$$\%C = (E_t * 100) / C.E.$$

### **11.3 Método para objetivo específico 3**

Este método implica “Construir un diseño óptimo de producción de energía fotovoltaica implementable” el diseño debe cumplir con las normativas locales, garantizar la seguridad y facilitar la operación y el mantenimiento futuros. Con el uso de herramientas avanzadas de software y la aplicación de las mejores prácticas de la industria, el diseño del sistema fotovoltaico se convierte en una solución personalizada que maximiza el rendimiento energético y minimiza el impacto ambiental, proporcionando una fuente de energía limpia y renovable para el usuario final (Hoang et al., 2021).

Los diseñadores deben articular una configuración que responda a las restricciones físicas del sitio y a las preferencias estéticas, manteniendo siempre la eficiencia energética como una prioridad. Se debe hacer una selección cuidadosa de los componentes, eligiendo paneles solares, inversores y baterías que no solo sean de la más alta calidad y eficiencia, sino también compatibles entre sí y

adecuados para las condiciones ambientales del sitio. Los componentes deben ser dispuestos en una configuración que maximice la captación de luz solar mientras se minimiza el sombreado durante las horas pico de generación (Khare et al., 2019).

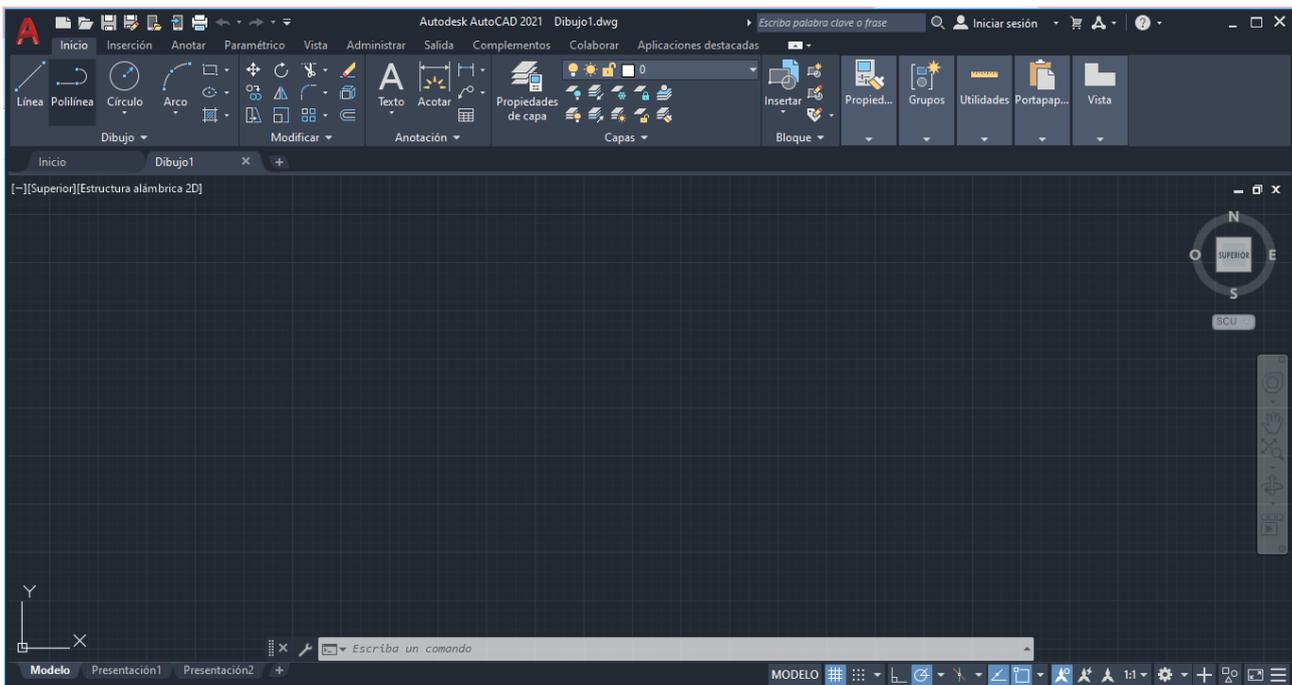
### 11.3.1 Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora (CAD) es un pilar fundamental en la ingeniería y arquitectura en el sistemas de energía renovable, especialmente en la planificación y diseño de sistemas de paneles solares. Utilizando el software AutoCAD, permitió abordar con gran precisión la presentación del diseño del sistema fotovoltaico eficiente y optimizado (Angel & Porcel, 2011).

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) en la industria de la energía fotovoltaica es un proceso tecnológicamente avanzado que comienza con la elección de un software CAD especializado. Este software debe ser capaz de crear modelos tridimensionales detallados y realizar simulaciones de iluminación. Con el sitio de instalación seleccionado, se recopilan datos precisos del terreno, incluyendo mediciones, obstáculos existentes y características topográficas, los cuales se utilizan para construir un modelo virtual en el software CAD (Kumar Vashishtha et al., 2022).

En este entorno digital, se procede a diseñar la disposición de los paneles solares, ajustando la orientación y la inclinación para captar la máxima radiación solar posible, teniendo en cuenta las estaciones del año y las variaciones diarias (Obiwulu et al., 2022). Se simulan diferentes configuraciones para optimizar el uso del espacio y la eficiencia energética, asegurándose de que cada panel reciba la luz solar directa sin ser sombreado por obstáculos cercanos. Tras la fase de modelado y simulación, el proceso CAD produce una serie de documentos técnicos y planos de construcción (Angel & Porcel, 2011).

**Figura 10.** Software AutoCAD.



### 11.3.2 Georeferenciación del área de estudio

Este procedimiento comienza con la identificación del sitio de interés en Google Earth, aprovechando sus capacidades de mapeo y visualización satelital para obtener una vista detallada del terreno desde una perspectiva global.

**Figura 11.** Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca.

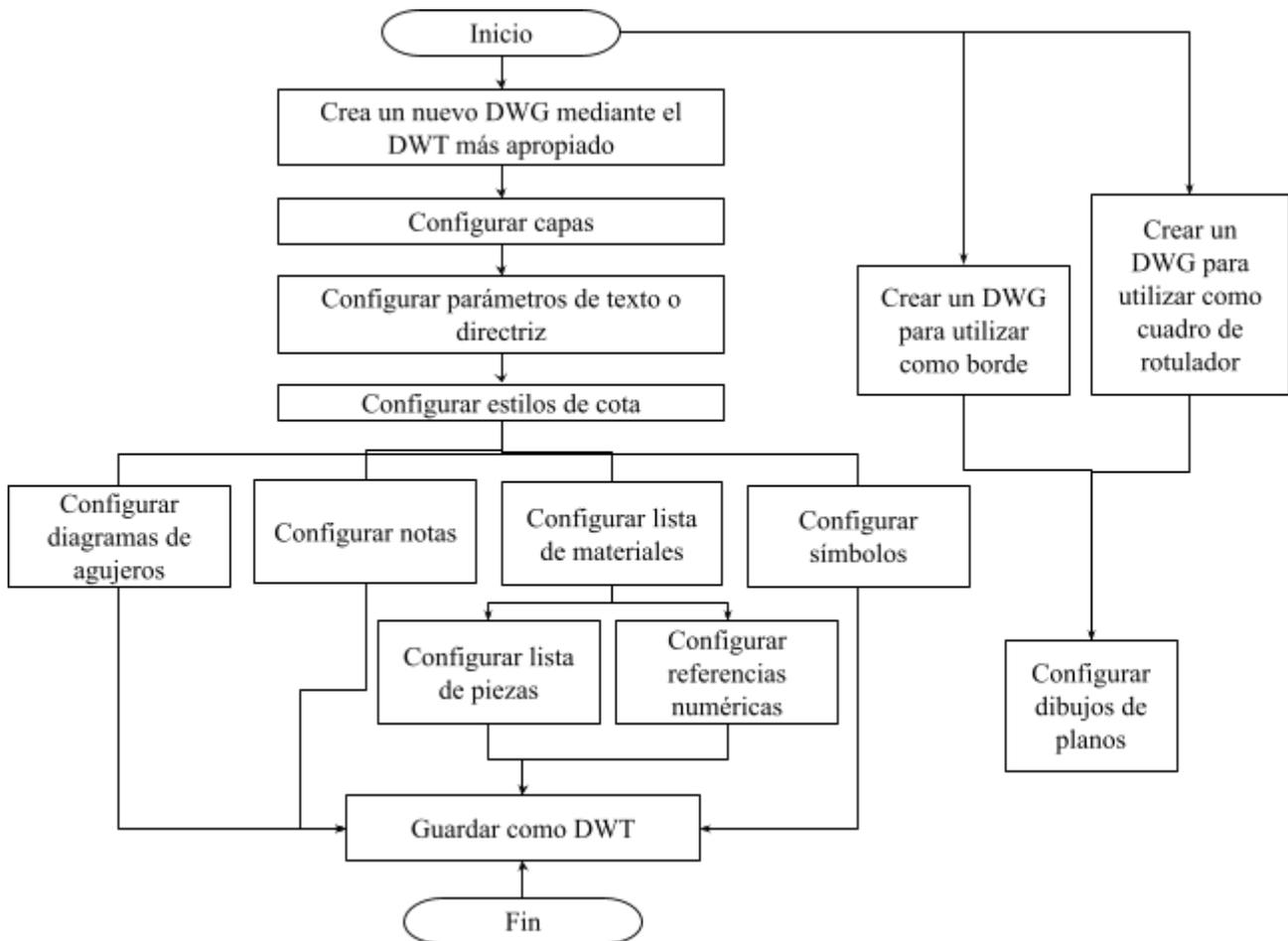


*Fuente (Autor)*

Una vez localizado el sitio, se utilizan las herramientas de Google Earth para marcar los puntos de referencia precisos, que pueden incluir las fronteras del área de estudio, características topográficas significativas y otros elementos clave que afectarán la instalación del sistema solar. Estos puntos son etiquetados y sus coordenadas geográficas son registradas (Elhashash & Qin, 2022). Google Earth permite también medir distancias y áreas con bastante precisión, lo que es fundamental para calcular la cantidad de espacio disponible para los paneles solares y para planificar la distribución del sistema.

Una vez exportados, estos datos georeferenciados se importan al software CAD, donde se utilizan como una capa base sobre la cual se construirá el diseño del sistema fotovoltaico. La metodología CAD, aplicada a través de AutoCAD, no solo mejora la eficacia del diseño, sino que también asegura la conformidad con las normativas y facilita la comunicación entre los equipos de diseño, construcción y los interesados, garantizando que el sistema final no solo sea viable técnicamente, sino también rentable y sostenible a largo plazo (Elhashash & Qin, 2022). En este entorno digital, la precisión es fundamental, y la georeferencia permite que cada elemento del diseño esté ubicado con exactitud en su posición geográfica real. Esto es particularmente importante para la planificación de la distribución de los paneles solares y la orientación para la máxima captación solar (Gregor et al., 2008).

**Figura 12.** Finca floricultora Kimbaya, Rosal, Cundinamarca.



fuelle: AutoCad Mechanical, 2022

Dentro del software de diseño, los datos georreferenciados pueden ser manipulados y analizados con gran detalle. Por ejemplo, las herramientas de CAD permiten la superposición de datos de radiación solar y la simulación de las trayectorias solares en épocas del año. Esto proporciona una visión integral de cómo el entorno interactúa con los paneles solares, permitiendo ajustes finos en el diseño para optimizar la eficiencia del sistema (Gregor et al., 2008). En última instancia, digitalizar la georreferencia al software de diseño es más que una mera transferencia de datos; es la creación de un puente entre la realidad geográfica del sitio y el proceso de diseño técnico, lo que resulta en soluciones de energía solar más precisas, eficientes y ejecutables en el mundo real.

### 11.3.3 Retornabilidad

De manera paralela a los cálculos se cotiza los paneles solares seleccionados, por la cantidad de paneles implementables, junto a sus accesorios para la conexión e instalación, con el fin de determinar la inversión inicial (In) que se debe hacer en la finca para así poder calcular la tasa de retornabilidad.

Se debe cuantificar el ahorro mensual (Ah/mes) que se genera por la producción de energía por medio de los paneles solares, para ello se debe revisar el coste del kWh de acuerdo al cobro del proveedor de energía (\$kWh) y multiplicarlo por los kWh producidos por el sistema de paneles solares (Et/mes) usando la siguiente ecuación.

**Ecuación 6. Ahorro mensual**

$$Ah/mes = \$kWh * (Et/mes)$$

Ya cuantificado el ahorro mensual (Ah/mes) y la inversión inicial (In), se puede cuantificar el tiempo de retorno (T.R.), dividiendo la inversión inicial (In) en ahorro mensual (Ah/mes).

**Ecuación 7. Tiempo de retorno**

$$T.R. = In / (Ah / mes)$$

Teniendo en cuenta que los paneles solares tienen una vida útil aproximada de 25 años (300 meses) se le descontará los meses que se tarda en retornar la inversión (T.R.) al tiempo útil del proyecto (T.U.) que son los 300 meses, tal resultado se multiplicará por el ahorro mensual (Ah/mes) y se obtendrá como producto el ahorro total (Ah total) del proyecto, el cálculo se realiza con la ecuación 8.

**Ecuación 8. Ahorro total del proyecto**

$$Ah \text{ total} = (300 - T.R.) * (Ah/mes)$$

Con dichos cálculos se puede validar la efectividad del proyecto, teniendo en cuenta el % de cumplimiento del proyecto frente a la demanda energética total de la finca.

**Tabla 2,** Metodología para el desarrollo del proyecto investigado

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Método	Técnica	Instrumento
Presentar un sistema de producción de energía	Identificar las zonas óptimas para implementar el proyecto en la finca.	Comprensión de la necesidad de la instalación del sistema fotovoltaico	Experimental	-Revisión bibliográfica	-Web -Libros
		Medición de la zona adecuada para la implementación del proyecto	Cuantificativo	-Salida de campo -Medición de área	-QGIS -Cinta Métrica
	Estimar los niveles de producción de energía	Investigar las ecuaciones para calcular la producción de energía	Experimental	-Revisión bibliográfica	-Web .Libros

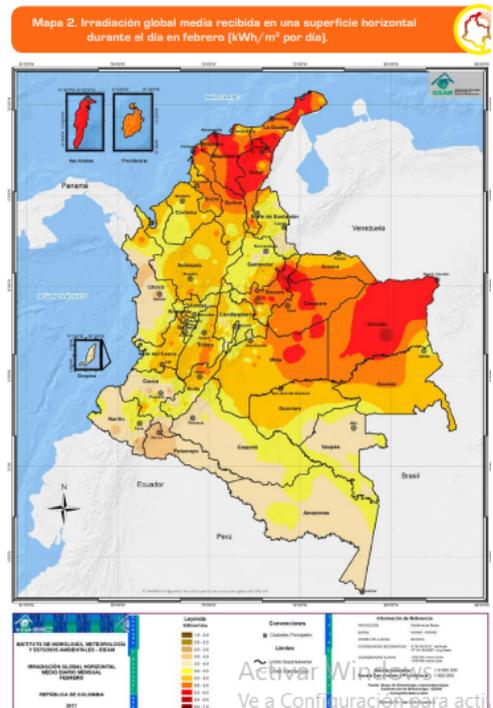
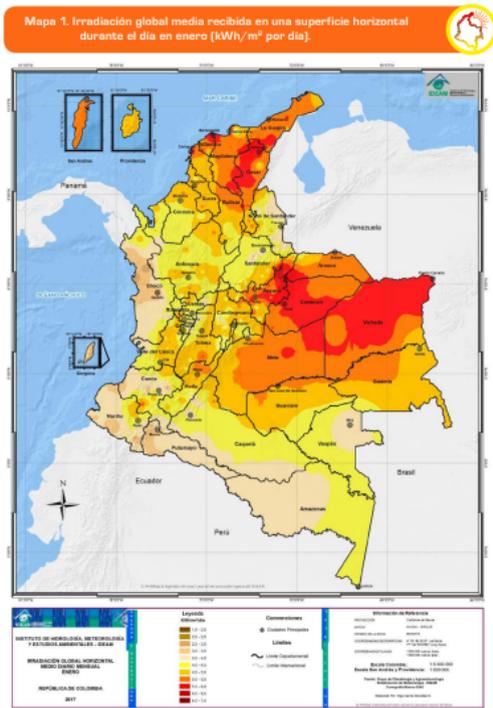
para la finca floricultora.	fotovoltaica en la finca.	Histórico de radiación solar	Cuantificativo	-Revisión bibliográfica	-Web Libros
		Estimar los niveles de producción (IDEAM, 2023)	Cuantificativo	-Cálculos	-Hojas de cálculo
		Análisis de los resultados	Cualitativo	-Análisis	-Documento
	Construir un diseño óptimo de producción de energía fotovoltaica implementable en la finca.	Diseñar un plano de distribución de los paneles solares en la finca floricultora	Cualitativo	-Planos	-QGIS -AutoCAD
		Propuesta de producción energética	Cualitativo	-Análisis	-Documento

## 12. Resultados y Análisis

### 12.1 Resultados del objetivo específico 1

#### 12.1.1 Zona de estudio

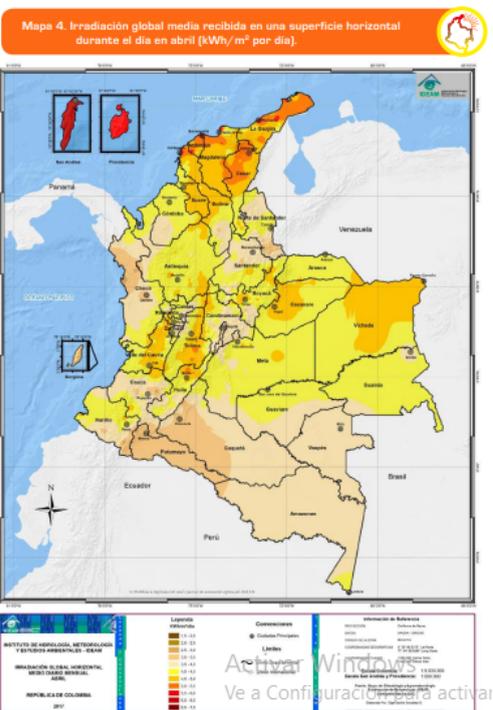
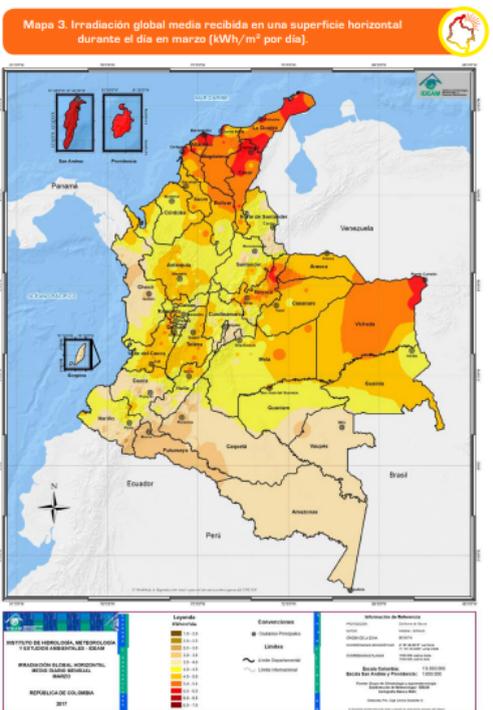
Teniendo en cuenta que Colombia se encuentra en una posición geográfica beneficiada para el aprovechamiento de esta energía, se analiza la radiación solar registrada en territorio nacional, específicamente en el sector del Rosal Cundinamarca, donde se lleva a cabo el estudio de caso, por medio del IDEAM se logra adquirir el promedio de radiación solar (RS) registrado (Benavides Ballesteros H, 2013) además las hora pico (h), que son el número de horas en el que la intensidad de la radiación se encuentra al máximo.



**Figura 13. Radiación solar registrada mes Enero y Febrero**

Enero 4,75 (4,5-5,0)

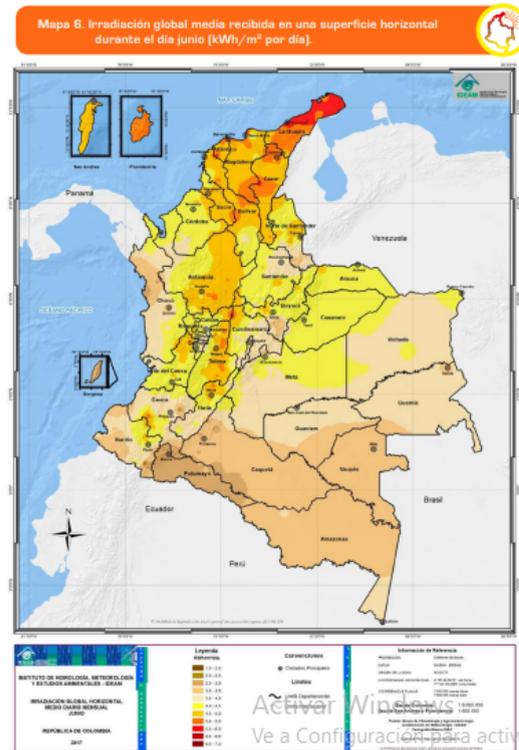
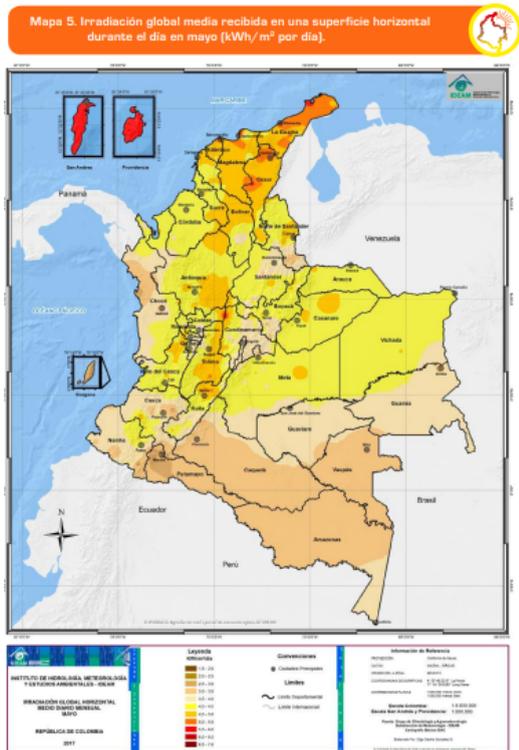
Febrero 4,25 (4,0-4,5)



**Figura 14. Radiación solar registrada mes Marzo y Abril**

Marzo 4,25 (4,0-4,5)

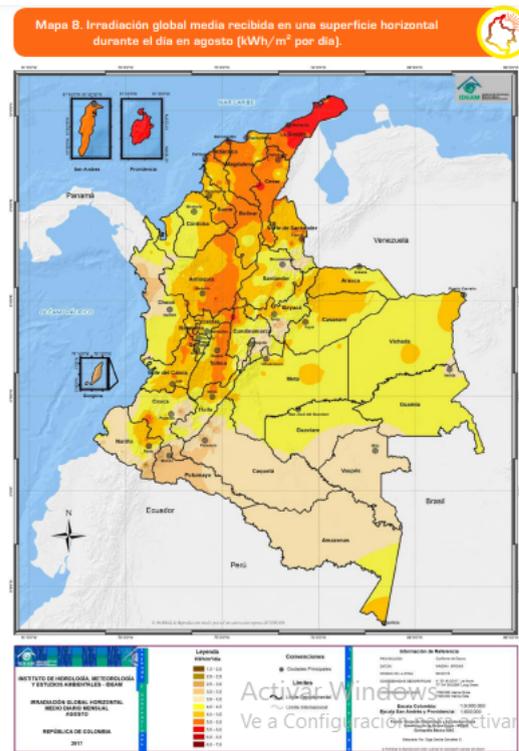
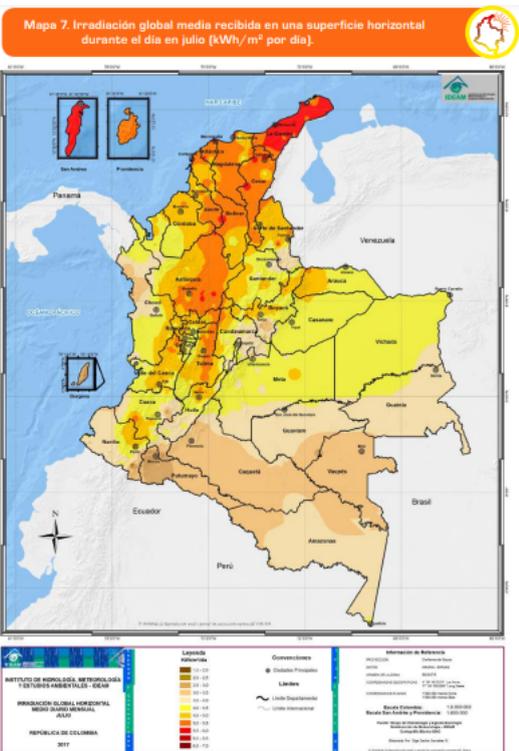
Abril 3,75 (3,4-4,0)



**Figura 15. Radiación solar registrada mes Mayo y Junio**

Mayo 3,75 (3,5-4,0)

Junio 4,25 (4,0-4,5)



**Figura 16. Radiación solar registrada mes Julio y Agosto**

Julio 4,25 (4,0-4,5)

Agosto 4,25 (4,0-4,5)



Mapa 13. Irradiación global media recibida en una superficie horizontal durante el día, promedio anual multianual (kWh/m<sup>2</sup> por día).

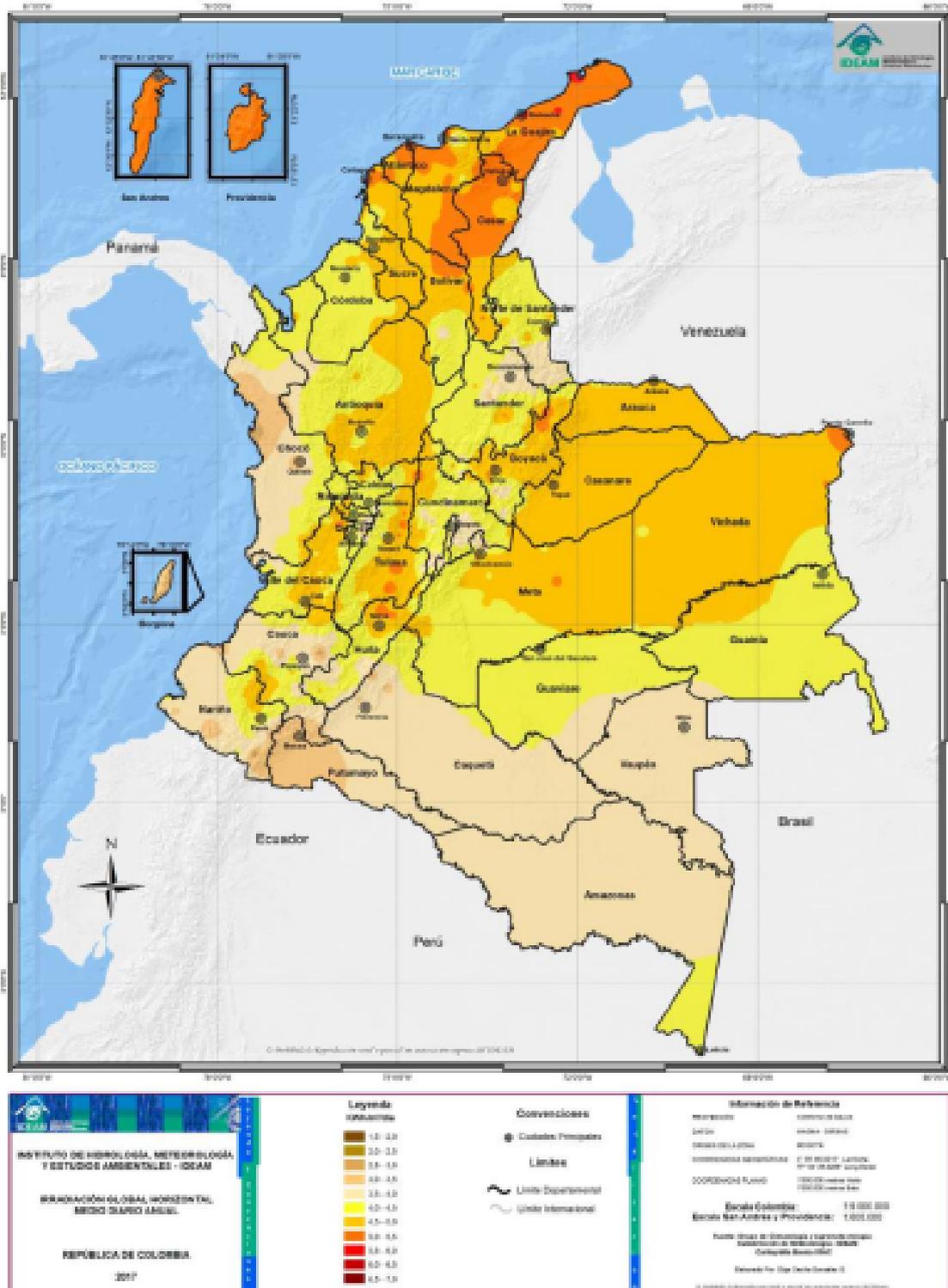


Figura 19. Radiación solar promedio registrada  
Promedio 4,25 (4,0-4,5)

Este registro ya nos puede dar una imagen de cómo se comportará la generación de energía por los paneles solares, teniendo en cuenta el promedio de radiación solar de cada mes, se logra identificar que Abril, Mayo y Noviembre serán meses donde la producción de energía por los paneles solares será baja debido a la poca radiación solar que llega en estos meses, caso contrario, el mes de enero muestra un registro de gran cantidad de radiación solar, por lo tanto este factor ayudará a masificar la producción de energía por medio de los paneles solares, sin embargo, entrando en mayor detalle se analiza la siguiente tabla de registro promedio de radiación solar por horas en los distintos meses interanual (Benavides Ballesteros H, 2013).

**Tabla 3.** Radiación solar registrada y horas promedio por mes.

PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (wH/M <sup>2</sup> )												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
1-2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2
2-3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
3-4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2
4-5	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2
5-6	0,1	0,1	0,2	1,2	2,7	1,7	1,1	1,0	2,3	2,8	2,4	0,6
6-7	33,9	30,4	41,3	54,3	69,7	67,7	55,2	54,4	64,9	71,5	72,4	55,9
7-8	199,5	171,2	152,6	179,4	197,3	201,6	201,3	184,4	181,1	209,8	218,2	216,3
8-9	381,4	352,2	282,1	304,7	314,7	309,9	322,6	303,4	280,4	362,5	381,9	384,1
9-10	554,4	509,5	393,1	370,1	413,7	414,1	421,4	418,5	391,6	479,0	488,4	504,3
10-11	662,7	588,9	528,5	443,7	459,8	483,2	491,7	490,2	466,9	524,4	547,5	554,2
11-12	659,8	613,2	566,6	482,7	499,3	522,9	519,7	525,5	537,1	505,5	505,6	545,2
12-13	634,8	547,0	495,3	465,5	512,5	511,2	550,2	532,7	551,0	499,5	430,9	482,8
13-14	576,8	524,5	461,7	447,2	468,8	503,4	517,7	508,7	503,4	437,6	385,5	447,6
14-15	450,7	426,7	400,3	365,3	386,9	430,0	429,5	438,6	435,0	377,1	301,2	384,2
15-16	344,6	298,0	283,8	265,6	285,8	311,1	314,0	328,1	323,2	261,5	195,6	273,1
16-17	195,2	166,4	160,8	162,5	165,9	182,7	189,9	187,3	179,8	138,8	97,5	143,6

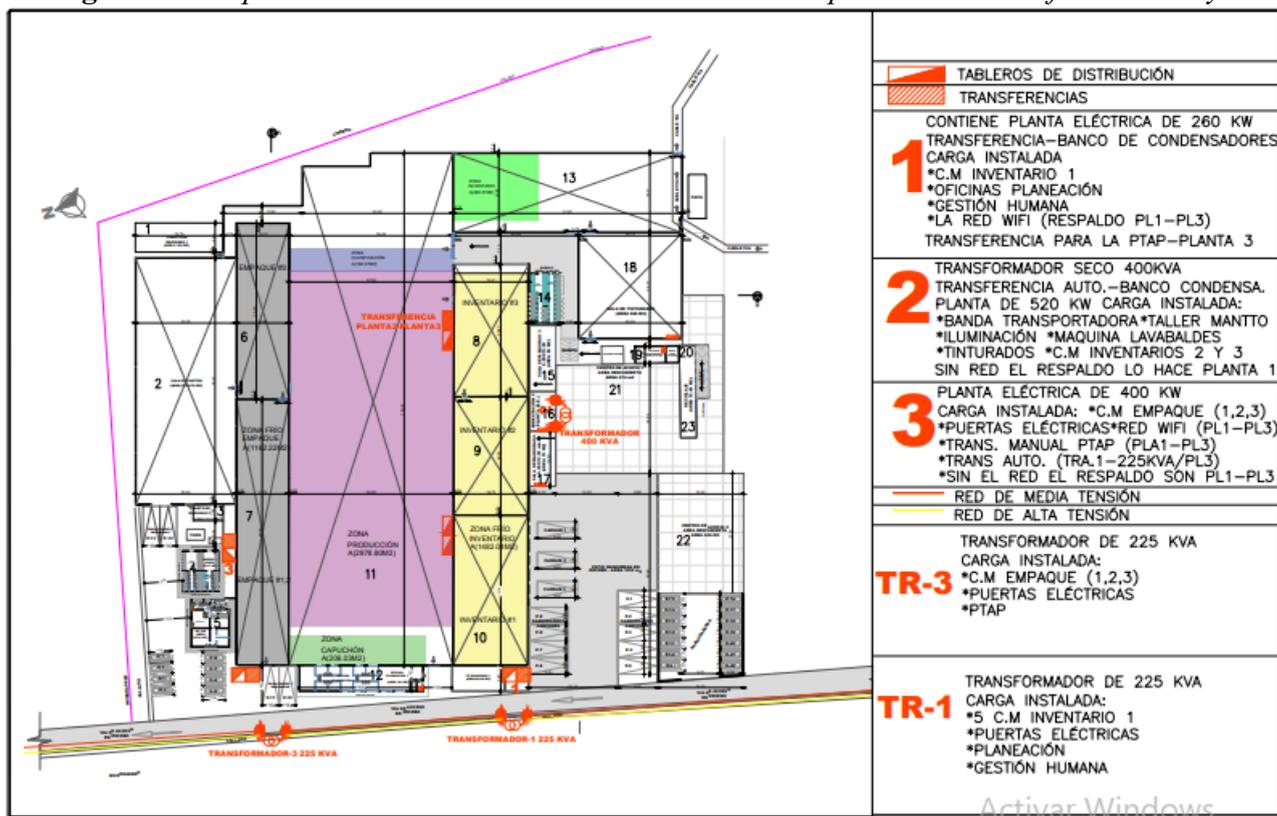
17-18	56,4	62,1	53,8	42,7	42,3	50,0	61,9	54,3	42,2	21,2	13,6	26,7
18-19	0,3	0,7	0,4	0,1	0,1	0,3	0,9	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
19.-20	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
20-21	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
21-22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
22-23	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
23-0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1
<b>Acumulada diaria</b>	<b>4750,5</b>	<b>4291,0</b>	<b>3820,4</b>	<b>3584,4</b>	<b>3819,4</b>	<b>3989,8</b>	<b>4077,0</b>	<b>4027,6</b>	<b>3959,1</b>	<b>3891,4</b>	<b>3640,9</b>	<b>4018,9</b>

	Entre 0 y 200 (Wh/m <sup>2</sup> )
	Entre 200 y 400 (Wh/m <sup>2</sup> )

	Entre 400 y 600 (Wh/m <sup>2</sup> )
	Entre 600 y 800 (Wh/m <sup>2</sup> )

Esta tabla permite confirmar la cantidad de radiación que llega cada mes, junto con las horas pico de esta radiación, Enero será el mejor mes de producción de energía por la alta radiación que se registra llegando a los 4.756,5 Wh/m<sup>2</sup> al día seguido de Febrero con 4.291 Wh/m<sup>2</sup>, y en cuanto a los meses de bajo desempeño estará Abril con 3.584,9 Wh/m<sup>2</sup> con el desempeño más bajo seguido de Noviembre con 3.640,9 Wh/m<sup>2</sup>, además las horas pico que se registra esta entre las 4 y 6 horas diarias (IDEAM, 2018), estas son dependientes directamente del tiempo por el que esté pasando cada día y mes, ya que una alta precipitación, baja temperatura y alta nubosidad ocasiona un bajo rendimiento de captación de esta radiación solar por parte de los paneles, es aquí donde influye el tipo de radiación que le llega al panel solar, la radiación directa, reflejada o difusa, por tal razón para disminuir la pérdida de energía captada, se debe garantizar que la ubicación de los paneles solares estén en una zona despejada, donde no pueda ser afectada por la proyección de sombra de algún objeto como casas, árboles o postes, por esta razón se suele colocar en prados, campo despejado o en los techos de casas o bodegas cuando no se cuenta con el área despejada, como lo es en este caso, al ser una finca de producción agropecuaria, necesita el área para los cultivos de flores, y los invernaderos no pueden ser obstruidos ya que la radiación solar mantienen a una temperatura ideal para la producción de flores, sin embargo, la finca cuenta con unas edificación para el centro de operaciones, donde se encuentra los transformadores e incluso las plantas eléctricas de respaldo.

**Figura 20.** Mapa de la distribución eléctrica del centro de operaciones de la finca Kimbaya



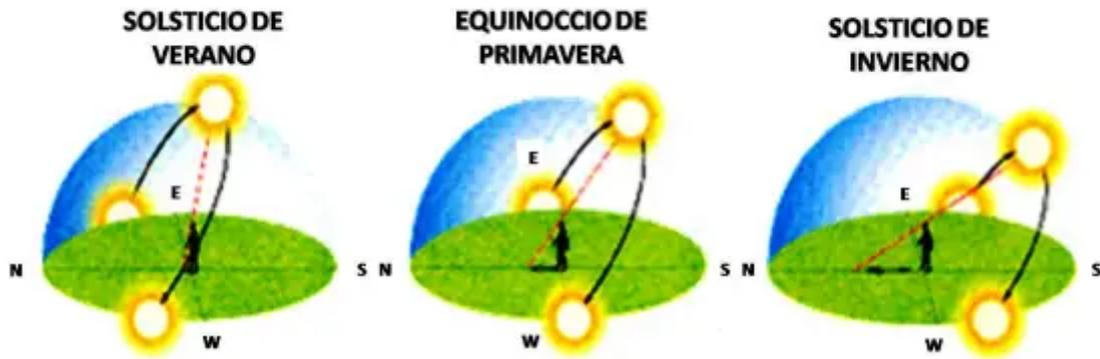
Fuente (Finca Kimbaya)

Por lo tanto se limita la zona para llevar a cabo la implementación del proyecto, y así comenzar un análisis de las necesidades de implementación del sistema de producción de energía por medio de los paneles solares.

Por lo que se deben tener en cuenta tres principales aspectos en el diseño (Solar Reviews, 2023).

1. Se recomienda realizar una limpieza de los paneles solares por lo menos 1 a 2 veces al año con el fin de que el polvo no disminuya la producción de energía, por lo tanto se debe garantizar pasillos en donde se pueda movilizar el colaborador para hacer el mantenimiento.
2. Los paneles tipo industrial son los que mayor energía generan, por lo tanto son los que se tendrán en cuenta para este proyecto, las características que tiene este tipo de panel es que son de gran tamaño y pesados, por lo que se debe garantizar soportes que aguantan las condiciones físicas del panel.
3. Es recomendable que los paneles se instalan con una leve inclinación no superior a los 5° al sur-oriente, esto con el fin de garantizar la captación de los rayos solares de manera directa, teniendo en cuenta la trayectoria solar desde el Rosal, Cundinamarca que es donde se llevará a cabo el proyecto tal como se muestra en la **Figura 18. Trayectoria solar.**

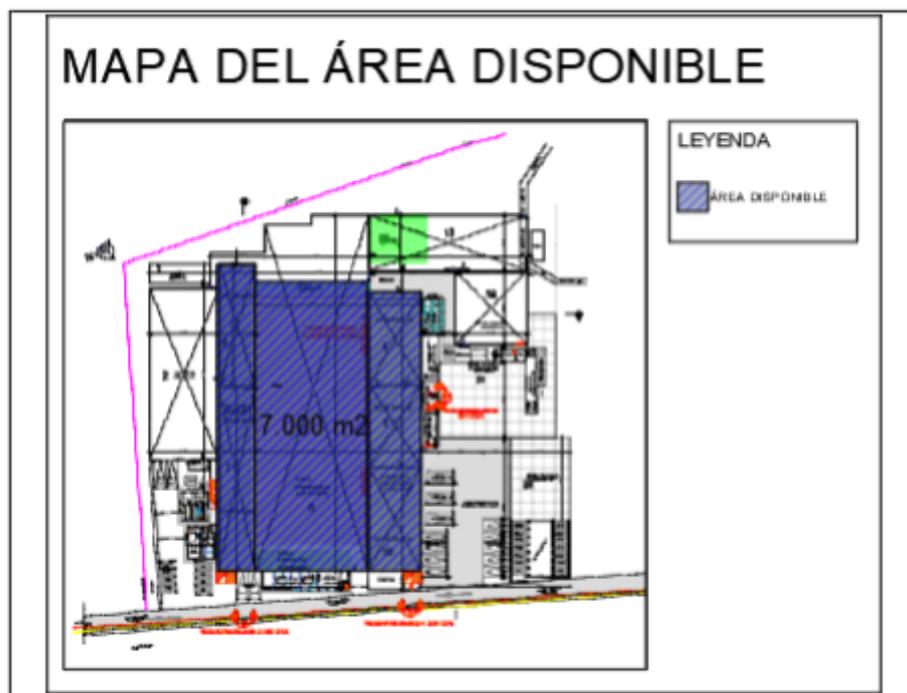
**Figura 21.** *Trayectoria solar*



*Fuente: (Hernandez, 2014).*

Teniendo en cuenta la trayectoria solar, se selecciona la zona en la que menos presente obstrucción por generadores de sombras, el cual son factores que pueden presentar pérdidas al sistema de captación.

**Figura 22** *Zona disponible para el proyecto*



*Fuente (Autor)*

Se identifica un área de 7.000 m<sup>2</sup> para instalar los paneles solares, cumpliendo con las características de implementación, teniendo en cuenta que las conexiones a la red se encuentran cerca para así tener una fácil y corta conexión a la red de distribución.

## 12.2 Resultados del objetivo específico 2

Los resultados del segundo objetivo permiten estimar los niveles de producción de energía que generará el sistema, adicionalmente se identifica el porcentaje de cumplimiento de la demanda de energía que tiene la finca actualmente.

### 12.2.1 Estudio de consumo de energía

Para el estudio del consumo de energía se inicia con el análisis del recibo de energía de la finca, el cual se encuentra en el Anexo 2, arrojando la cantidad y porcentaje de energía que consume la finca, se distribuye el consume de cada área de la finca y se plasma en la siguiente tabla.

**Tabla 4,** Distribución de consumo energético en la finca

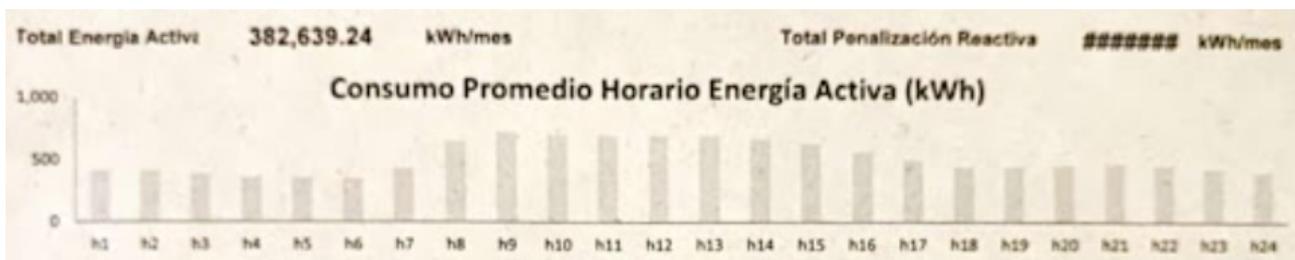
C. Operación	C. Costo	DESC. C.C.	DESC. U.N.	%	Consumo energía mes (kWh)	Valor por consumo
020	0138	Producción	Recepción e Inventario de Flor	24,79%	94.856,21	\$52.546.639
001	1507	Producción	Pompom	19,44%	74.385,02	\$41.206.400
001	1803	Poscosecha	Pompom	12,69%	48.556,89	\$26.898.622
020	0133	Producción	Empaque Bouquetera Kimbaya	11,59%	44.347,86	\$24.566.985
020	0134	Producción	Bouquets Bouquetera Kimbaya	8,14%	31.146,81	\$17.254.120
001	1505	Producción	Gerberas	7,93%	30.343,27	\$16.808.989
001	0046	Enraizamiento	Pompom	2,71%	10.369,52	\$5.744.308
001	1802	Poscosecha	Lirios Orientales	2,39%	9.145,07	\$5.066.013
001	1506	Producción	Lirios Orientales	1,57%	6.007,43	\$3.327.883
001	0180	Administración	Gestión Humana	1,54%	5.892,64	\$3.264.293
001	0160	Producción	Casino Cafetería	1,52%	5.816,11	\$3.221.900
001	0145	Producción	Mantenimiento General	1,16%	4.438,61	\$2.458.818
020	0118	Producción	Tinturado por Absorción	1,04%	3.979,45	\$2.204.458
001	0200	Administración	Estamistica	0,96%	3.673,33	\$2.034.884
001	1501	Producción	Lirios Orientales Dobles	0,59%	2.257,57	\$1.250.606
001	1804	Poscosecha	General Kimbaya	0,48%	1.836,67	\$1.017.442
001	1801	Poscosecha	Gerberas	0,39%	1.492,29	\$826.672
010	0205	Administración	Planeación	0,27%	1.033,13	\$572.311
001	0155	Producción	Almacenamiento Bodega	0,22%	841,81	\$466.328
001	1502	Producción	Gerberas Picolines	0,17%	650,49	\$360.344
001	1504	Producción	Fresias	0,16%	612,22	\$339.147
001	1503	Producción	Agapanthus	0,15%	573,96	\$317.951

020	0180	Administración	Gestión Humana Bouquetera Kimbaya	0,10%	382,64	\$211.967
<b>Total</b>				100,00%	382.639,00	\$211.967.080
				<b>Total Interes Mora</b>	73012	
				<b>Valor Total Factura</b>	\$212.040.092	

Esta distribución de consumo permite comprender de dónde viene la alta demanda energética, como top 3 se logra evidenciar que Producción (recepción, inventario de flores, pompom) y Poscosecha (Pompom) son quienes demandan más del 50% de la energía en la finca, permitiendo identificar una gran oportunidad en estas operaciones. Sin embargo se toma el consumo total de la finca para realizar el presente proyecto, con un consumo total al mes de 382.639 kWh/mes, esta cifra será tomada como dato de consumo de energía (C.E.) para los cálculos de producción de energía.

Adicionalmente, se resalta que en la sección del recibo de horas de consumo, se identifica una mayor participación de consumo energético entre las 6 de la mañana, a las 6 de la tardes, además, se contempla la posibilidad de implementar un sistema de almacenamiento, pero debido al diagnóstico de las horas que se consume mayor energía en la finca, se optó por un sistema de consumo directo híbrido, donde la energía producida, será consumida de manera directa en los procesos productivos y el resto de la demanda, será suministrado por la red local.

**Figura 23.** Promedio de consumo horario



Recopilando las cifras y datos obtenidos del área de estudio se consolidan en la siguiente tabla, para continuar con los cálculos de producción de energía

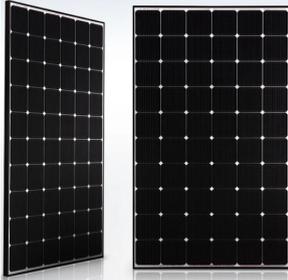
**Tabla 5,** Radiación solar, horas pico y consumo de energía caso de estudio

Promedio de Radiación Solar (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Promedio de Horas la Radiación por Día (Horas)	Consumo de energía al mes (kWh)
4,25	5	382.639

### 12.2.2 Estudio de factibilidad

Para darle continuidad a los cálculos de producción de energía es necesario seleccionar el panel que se implementará para tener una cuantificación de energía producida más precisa. Por lo que se tendrá en cuenta el top 3 de los paneles más eficientes y con mejores prestaciones que se encuentra en el mercado actualmente, hay que tener en cuenta que Colombia aún es muy joven en este comercio, por lo tanto se comparan productos nacionales como importados. Comenzando con el top 3 de paneles con prestaciones sobresalientes se comparan ---

**Tabla 6.** Radiación solar registrada, número de horas pico y consumo de energía caso de estudio

Característica	LG Solar NeON 2 (LG Electronics, 2022)	Vertex 670W de Ultra High Power (Trina Solar, 2023)	MAX6-440-AC (Sun Fields EUROPE, 2023)
<b>Wp Potencia nominal</b>	400W	670W	440W
<b>%Eficiencia</b>	21,1%	21,6%	22,8%
<b>Tamaño</b>	1m x 2m	2,1m x 2,1m	1,8m x 1m
<b>Fotos</b>			

Los tres paneles son sobresalientes en el mercado actualmente, con características funcionales para cada área de implementación, sin embargo, cada uno cuenta con aspectos que negativos para el proyecto, el panel LG es pequeño, liviano, tiene una potencia nominal considerablemente buena, sin embargo está por debajo de la radiación solar que llega a la zona, por lo tanto no tendrá el máximo aprovechamiento de producir la energía proveniente de la radiación solar. El segundo ejemplo es un Vertex de 670W tiene una alta potencia nominal, superando la radiación solar que llega a la zona, haciéndolo muy capaz de producir grandes cantidades de energía, sin embargo es de gran tamaño, volviéndolo pesado y dificultando el manejo del mismo, la tercera opción es MAX 6 de 440W, con una alta eficiencia, alcanzando el 22,8%, sin embargo se tiene en cuenta que este panel sufrirá el mismo problema que la primera opción, el panel no será capaz de captar toda la energía que llegue por la radiación solar, a pesar de estar por encima del promedio registrado en la zona de estudio (425 kWh), esto se presenta por que las horas picos llegan con mayor carga de energía, como el mes de enero en la **Tabla 3. Radiación solar registrada y horas promedio por mes** se tuvo un registro de 662,7 kWh, por lo tanto se descartan las dos opciones que no cumplen con la captación de energía que el ambiente genera.

Por lo tanto la sección de cálculos se realizaron teniendo en cuenta las características del panel solar de Trina Solar 670W de Ultra High Power (Trina Solar, 2021) ya que es el panel solar que cumple

las necesidades de captación de la radiación solar y cuenta con una eficiencia y potencia nominal sobresaliente en el mercado (La Bodega Solar, 2023). Recopilando las características del panel se cuenta con 21,6% de eficiencia en la producción de energía y cuenta con un área de 4.41 m<sup>2</sup> (Trina Solar, 2023).

Se comienza el cálculo determinado la potencia nominal del panel, usando la ecuación 1, teniendo en cuenta la radiación solar que llega a la zona de estudio.

Ecuación 1. Cálculo de potencia nominal en el área de estudio $W_p = RS * A_p * EF$
$RS = 425 \text{ W/m}^2$ $A_p = 4,41 \text{ m}^2$ $EF = 21,6\% = 0,216$ $W_p = (425 * 4,41 * 0,216)$ $W_p = 404,84 \text{ W}$

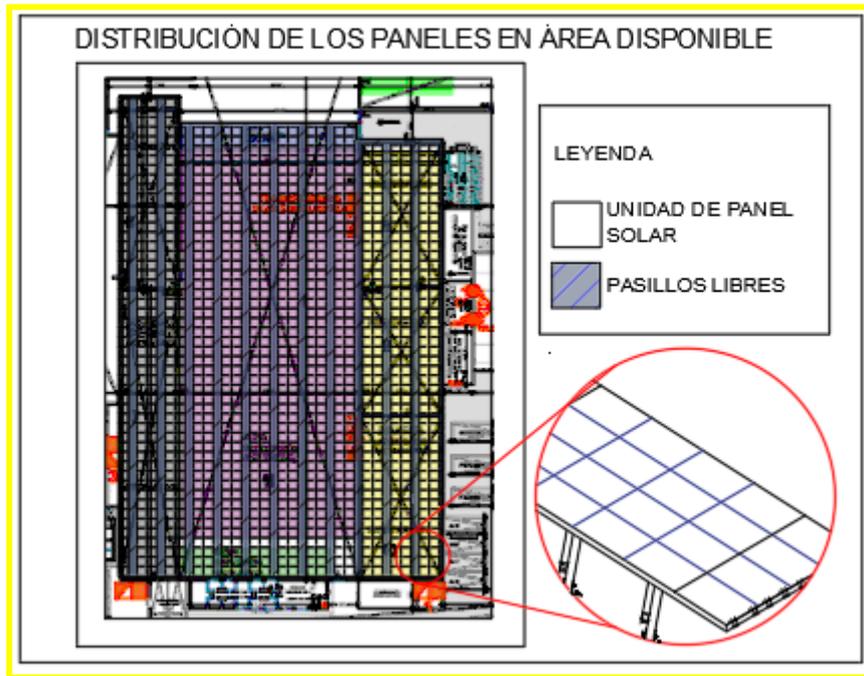
Ya obtenido la potencia nominal del panel ( $W_p$ ) en condiciones del área de estudio, se puede estimar la energía que producirá el panel solar al día, de acuerdo a las horas pico ( $h$ ) del área de estudio usando la segunda ecuación.

Ecuación 2. Energía producida por panel solar al día $Ep = (W_p * h)/1000$
$W_p = 404,84 \text{ W}$ $h = 5$ $Ep = (404,84 * 5) / 1000$ $Ep = 2,02 \text{ kWh / dia}$

La energía que producirá cada panel un día promedio será de 2,02 kWh, una cifra considerablemente buena, ya que cada panel del sistema será capaz de abastecer de energía un promedio de 10 computadores en uso (Moreno, 2018), en cuanto a la capacidad de paneles que se pueden implementar en la finca, teniendo en cuenta las condiciones estructurales y necesidades del panel se identifica la zona apta para llevar a cabo el proyecto.

Por lo tanto se realiza el cálculo de la cantidad de paneles que se pueden colocar en la zona apta, teniendo en cuenta las necesidades de la implementación como un espacio para realizar los mantenimientos y ajustes de los paneles.

**Figura 24.** Distribución de los paneles solares en zona de estudio



*Fuente (Autor)*

Se tiene un gran área apta para el proyecto, por lo que se tiene una alta capacidad para implementar un sistema de paneles solares sin embargo no será mayor a 1.081 paneles, teniendo en cuenta que se debe dejar unos pasillos libres para realizar el mantenimiento adecuado, la limpieza y ajustes necesarios, además de contar con las conexiones necesarias para garantizar una producción de energía conjunta, para enviarla a los inversores y terminar en el consumo.

Partiendo de la cantidad de paneles aptos y la energía capaz de producir cada panel, se realiza el cálculo de energía total producida por el sistema por medio de la ecuación 3.

<p>Ecuación 3. Energía total producida</p> $Et = Np * Ep$
$Np = 1.081$ $Ep = 2,02 \text{ kWh / día}$ $Et = 1.801 * 2,02 \text{ kWh / día}$ $Et = 2.183,62 \text{ kWh / día}$

Resultando una producción de 2.183,62 kWh para consumo diario, se considera una cantidad realmente alta de energía, la cual estaría en la capacidad de abastecer la demanda de energía de algunas áreas, sin embargo, para determinar si esta producción diaria logra suplir la demanda de energía mensual de la planta, se calcula la producción mensual promedio del sistema.

<p>Ecuación 4. Producción de energía mensual</p> $Et/mes = Et/día * 30$
$Et / día = 2.183,62 \text{ kWh / día}$

$$Et / \text{mes} = 2.183,62 * 30$$

$$Et = 65.508,6 \text{ kWh} / \text{mes}$$

La producción de energía de los paneles solares no logra cumplir en totalidad la demanda energética de la finca, teniendo en cuenta la **Tabla 2**. La energía que consume la finca es de 382.639 kWh al mes y solo se logra producir 65.508,6 kWh al mes, es decir, el sistema de paneles tendría la capacidad de cumplir con el 17,12% de la demanda de energía de la finca.

Ecuación 5. Cumplimiento de la demanda energética

$$\%C = (Et * 100) / C.E.$$

$$Et = 65.508,6 \text{ kWh} / \text{mes}$$

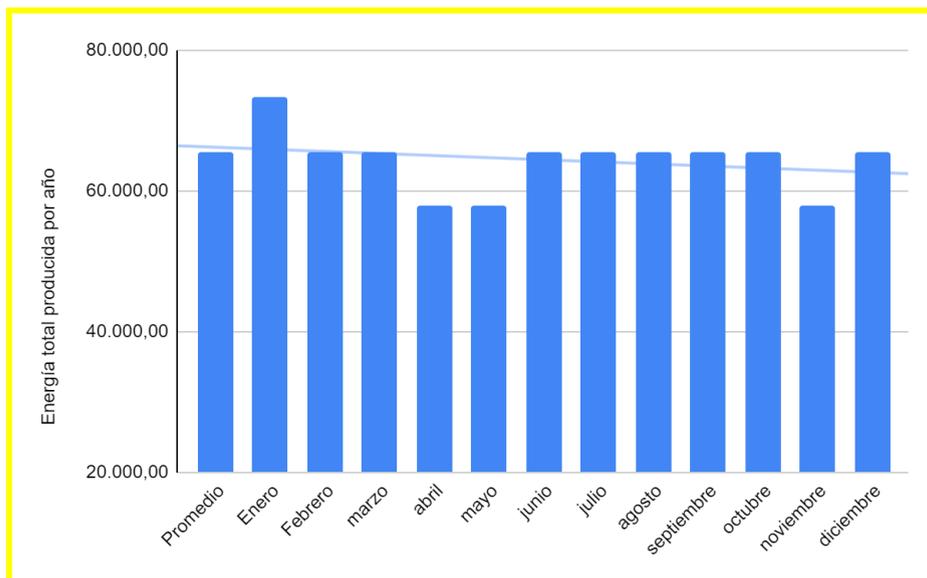
$$C.E. = 382.639 \text{ kWh} / \text{mes}$$

$$\%C = (65.508,6 * 100) / 382.639$$

$$\%C = 17,12\%$$

Sin embargo realizando un análisis de la producción de energía mes a mes, se identifica que este porcentaje variará, como lo vemos en la siguiente figura 25, la producción de energía variará mes a mes, por lo que se estima que el porcentaje de cumplimiento del sistema estará entre los 15,14% y 19,17%, de acuerdo al anexo 4, donde se identifica el cálculo mensual de acuerdo a cada condición del mes.

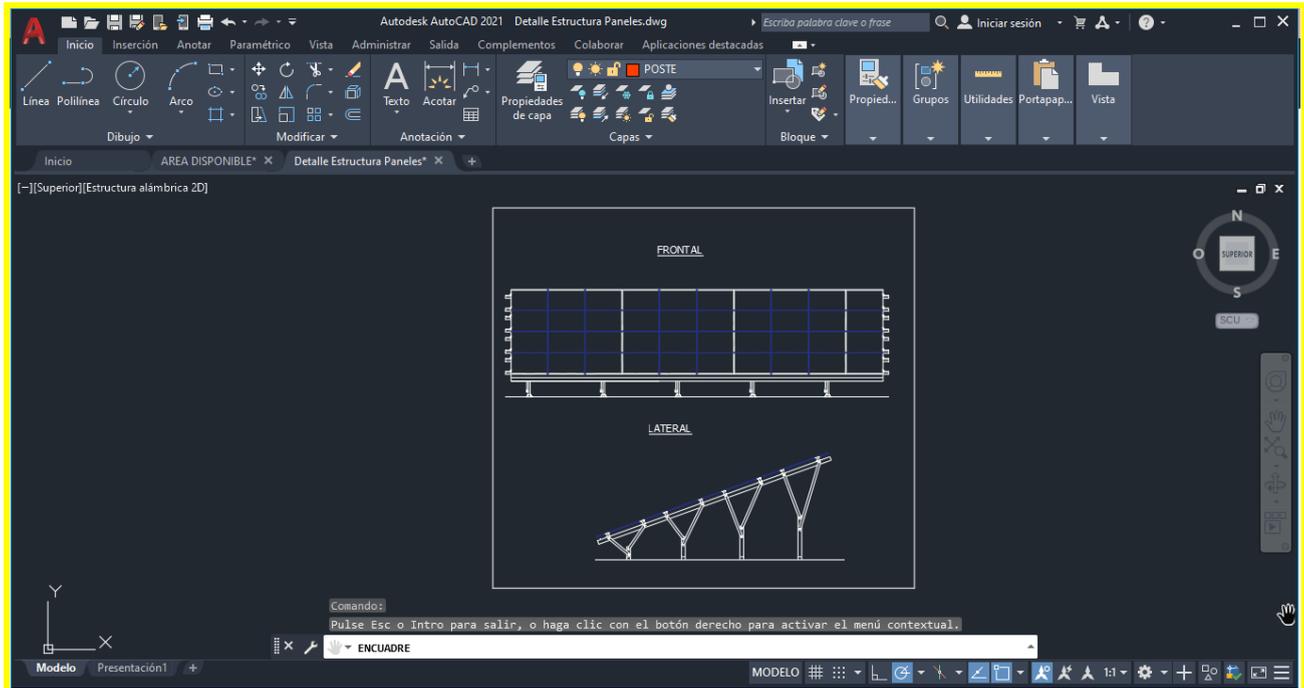
**Figura 25.** Distribución de producción de energía mes a mes



### 12.3 Resultados del objetivo específico 3

Se realiza el diseño detallado de la distribución y soportes de los paneles solares, teniendo en cuenta las condiciones y necesidades de la zona de estudio, también se tiene en cuenta el grado de inclinación pertinente para masificar la captación de energía.

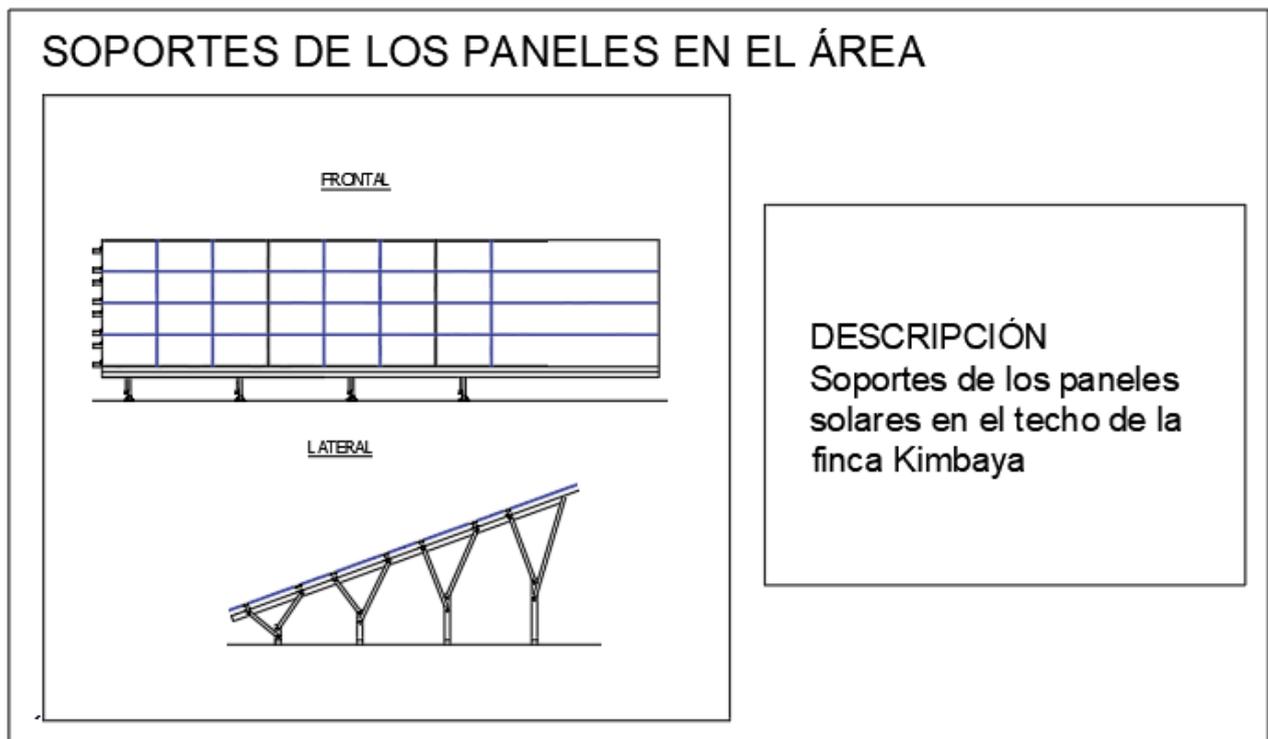
**Figura 26.** *Diseño de soporte de los paneles solares en AutoCAD*



*Fuente (Autor)*

Por medio del software AutoCAD se realiza el diseño detallado del soporte de los paneles solares para ubicar en el techo de la planta de producción y centro de operaciones de la finca Kimbaya.

**Figura 27.** *Diseño de soporte de los paneles solares*



Fuente (Autor)

Una vez ya identificada la factibilidad de generación de energía se continúa con el análisis económico y aspectos ambientales, con el fin de garantizar un diseño óptimo e implementables en la finca.

### 12.3.1 Análisis económica

Teniendo en cuenta que estos paneles no se comercializan en Colombia, se debe realizar una exportación con la marca directamente desde China. En Colombia se tiene un panel con eficiencia similar pero menor potencia y características similares, el PNLM 27 de 545 W, la cotización de estos paneles se encuentran en el anexo 3, donde la unidad de estos paneles tiene un costo de \$1.020,600 la inversión inicial será medida por la cantidad de paneles implementables en la zona, adicional se suma el costo de los inversores, teniendo como referencia un inversor tipo industrial on grid capaz de recibir energía por el sistema de paneles solares, además, la red local. Estos inversores se calcula una adaptación aproximado de 5 inversores para cada 100 paneles, es decir, un aproximado de 55 inversores de capacidad media, para no perder energía generada por los paneles y cada inversor tiene un costo de \$10.417.500.

$\begin{aligned} \$\text{Paneles} &= 1.081 * \$1.020.600 \\ \$\text{Paneles} &= \$1.103.268.600 \end{aligned}$
$\begin{aligned} \$\text{Inversores} &= 55 * \$10.417.500 \\ \$\text{Inversores} &= \$572.962.500 \\ \text{Inversión total} \\ \text{In} &= \$1.103.269.600 + \$572.962.500 \\ \text{In} &= \$1.676.231.100 \end{aligned}$

La inversión inicial para la compra de los paneles solares más los inversores es de \$1.676.231.100 teniendo en cuenta que son los dos instrumentos más costoso del sistema, sin tener en cuenta la mano de obra del instalación y quien realice la conexión, sin embargo esta alta inversión cuenta con una tasa de retorno calculada a continuación.

$\begin{aligned} \text{Ecuación 6. Ahorro mensual} \\ \text{Ah/mes} &= \$\text{kWh} * (\text{Et/mes}) \end{aligned}$
$\begin{aligned} \$\text{kWh} &= \$553,96 \text{ por kWh} \\ \text{Et / mes} &= 65.508,6 \text{ kWh} \\ \text{Ah / mes} &= \$553,96 * 65.508,6 \text{ kWh} \\ \text{Ah / mes} &= \$36.289.144 \end{aligned}$

La implementación de los paneles solares como fuente de energía, capaces de generar 65.508,6 kWh al mes, representa un ahorro en la factura de energía de \$36.289.144 al mes. Por lo tanto se calcula la tasa de retorno y ahorro total del proyecto.

$\begin{aligned} \text{Ecuación 7. Tiempo de retorno} \\ \text{T.R.} &= \text{In} / (\text{Ah / mes}) \end{aligned}$
$\text{In} = \$1.676.231.100$

$$\begin{aligned} \text{Ah / mes} &= \$36.289.144 \\ \text{T.R.} &= \$1.676.231.100 / \$36.289.144 \\ \text{T.R.} &= 47 \text{ meses} \end{aligned}$$

Una vez el proyecto se implemente, generando energía estable, con un ahorro mensual de \$36.289.144 generar en el mes 47 una recuperación de la inversión inicial, es decir el resto de los 300 meses (25 años) de vida útil de los paneles solares representan una ganancia para la empresa, es decir, 253 meses de ganancias representados en ahorro por consumo de energía.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 8. Ahorro total del proyecto} \\ \text{Ah total} &= (300 - \text{T.R.}) * (\text{Ah/mes}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{T.R.} &= 47 \text{ meses} \\ \text{Ah / mes} &= \$36.289.144 \\ \text{Ah total} &= (300 - 47) * (\$36.289.144) \\ \text{Ah total} &= \$9.181.153.432 \end{aligned}$$

Los 253 meses representan un ahorro de \$9.181.153.432 pesos, teniendo en cuenta que el precio por kWh no aumente, garantizando generación de energía diaria en el transcurso de los 25 años.

### 12.3.2 Financiación

Este tipo de proyectos, que tienen enfoques en producción de energías renovables tiene varios beneficios tributarios, lo cual genera un incentivo a las empresas privadas de promover e implementar este tipo de energías para su consumo a lo largo de sus procesos productivos. Además en Colombia se cuenta con bancos nacionales como Bancolombia, Banco Agrario de Colombia, BBVA, entre otros, que se encargan de la financiación de proyectos contribuyentes a la sostenibilidad tales como:

- Eficiencia energética.
- Generación o aumento del uso de energías renovables.
- Infraestructura sostenible.
- Ecoturismo.
- Implementación de tecnologías ‘end of pipe’.
- 

Estos son denominados y conocidos como créditos verdes (Banco Agrario de Colombia, 2023). En este caso el aprovechamiento de energía renovable está dentro de este tipo de proyecto, el cual puede llegar a contar con financiación bancaria con un bajo interés, siempre y cuando cumpla con las metas propuestas (Portafolio 30 años, 2021), algunos ejemplos son:

**Tabla 7.** *Presupuesto bancario para créditos verdes.*

Banco	Préstamos	Empresas
Bancolombia	1 Billón de pesos	Grupo Argos, Telefonía Movistar y Cementos Argos
Scotiabank Colpatria	US\$ 153 Millones	Telefonía movistar y Energía

		AES Colombia
BBVA	\$860.000 Millones	

Paralelo se cuenta con la ley 1715 del 2014, esta ley promueve el uso de energías renovables obteniendo beneficios tributarios, tales beneficios pueden llegar a ser, excluirlos del pago del impuesto de valor agregado (IVA) o un 50% de descuento en la renta anual durante 5 años, dependiendo el caso, puede llegar a obtener ambos beneficios (Ministerio de Minas y Energía, 2014). De esta manera el gobierno busca aumentar la participación de las empresas en proyectos sostenibles, permitiendo que inversiones de tan alto costo, tenga beneficios que alivien dicha inversión.

### 12.3.3 Análisis de aspectos ambientales (EIA)

Resulta importante realizar un estudio de la factibilidad del proyecto, esto con el fin de comprender la magnitud del impacto ambiental que genera esta implementación, por lo tanto se realiza un Estudio de Impacto Ambiental EIA (Secretaría de estado de medio ambiente., 2022). Para ello se escogió un top tres de las causas negativas y positivas que tendría la ejecución del proyecto (SolarInfo, 2022).

#### Negativos

- Deterioro de la fauna por pérdida y degradación de hábitat cuando es implementado en extensos terrenos y ubicados en el suelo.
- Alta extracción de recursos naturales para la producción de los paneles solares
- Residuos una vez cumplida la vida útil del proyecto, tales residuos terminan en disposición final.

#### Positivos

- Aprovechamiento de recurso renovables para generar energía, un recurso renovable funcionando como fuente inagotables
- Disminuye la generación de gases de efecto invernadero
- Fácil adaptación al medio, no se necesita una modificación de infraestructura, con fácil mantenimiento.

Teniendo en cuenta los anteriores impactos, se proponen medidas de mitigación para cada uno en caso de los negativos y cómo fortalecer los positivos.

**Tabla 8. Impactos ambientales del proyecto.**

Actividad	Impacto	Mitigación impacto
Extensas áreas para parques solares	Deterioro de la fauna por pérdida y degradación del hábitat	El proyecto busca aprovechar los techos de la planta de producción, implementando una expansión vertical y no horizontal, que son las que más área superficial usan y aumentan este impacto (Escuela posgrado de Ingeniería y Arquitectura, 2020).

Extracción de recursos para producción	La extracción de recursos genera degradación ambiental en el sector donde realizan la extracción	Actualmente se encuentra un proceso de aprovechamiento de los materiales usados en el panel solar, por lo tanto este aprovechamiento contribuye a disminuir la extracción de recursos, y si poder usarlos nuevamente para construir un nuevo panel (VEOLIA, 2017), aprovechamiento que se encuentra en países Europeos, siendo una técnica implementable en Colombia como planta de aprovechamiento.
Disposición final	Los paneles no cuentan con un aprovechamiento, por lo que los recursos extraídos llegan a disposición final	
Generación de energía	Aprovechamiento de recursos renovables	Este proyecto contribuye a que un nuevo sector productivo contribuya al paso de la sostenibilidad y llevando la tecnología a un municipio que apropiar y fomente el uso de esta generación de energía de bajo impacto
	Bajas emisiones de gases de efecto invernadero	El aprovechamiento de este tipo de energía contribuye a la generación de energía con pocas emisiones de gases de efecto invernadero.
Implementación del proyecto	Fácil adaptabilidad	Este tipo de generación de energía tiene una fácil adaptación a distintos tipos de medios donde se desee implementar.

De acuerdo al pro y contras con los que cuenta la implementación de este tipo de energía se puede clasificar como una fuente de energía de bajo impacto ambiental con fácil adaptación al medio, sin embargo cabe destacar que dependiendo de esta adaptación, su eficiencia para producir energía variará.

Al ser un proyecto de consumo autónomo, se puede contemplar como un proyecto a baja escala, la cual no ocupará mayores áreas en su desarrollo, por lo que se puede usar la expansión vertical, un método que busca aprovechar al máximo los espacios con las que cuenta la finca floricultora, garantizando un correcto manejo del recurso, evitando deteriorar otras áreas que pueden ser usadas con mejor vocación del suelo.

Otro de los contras que tiene este tipo de energía, es la disposición final, una actividad que actualmente no se cuenta con un correcto manejo en Colombia, sin embargo, ya en otros países

Europeos que presentó estos inconveniente en su momento de realizar la transición de energía convencional a la energía renovable, tienen manejo para estos residuos, no solo disposición final, si no aprovechamiento de los recursos, garantizando un 96% de recuperación de los recursos (VEOLIA, 2017), cambiando por completo la imagen actual de los paneles, donde el mayor contra en este proyecto es la disposición final una vez cumpla su ciclo de vida. Sin embargo, se resalta que dichos aprovechamientos no presentan prioridad de implementación en Colombia, no se cuenta con normas que exijan un plan de manejo de estos tipos de residuos, de acuerdo al estudio realizado en el 2023 del aprovechamiento de residuos proveniente de paneles solares (Gualdron. N, 2023).

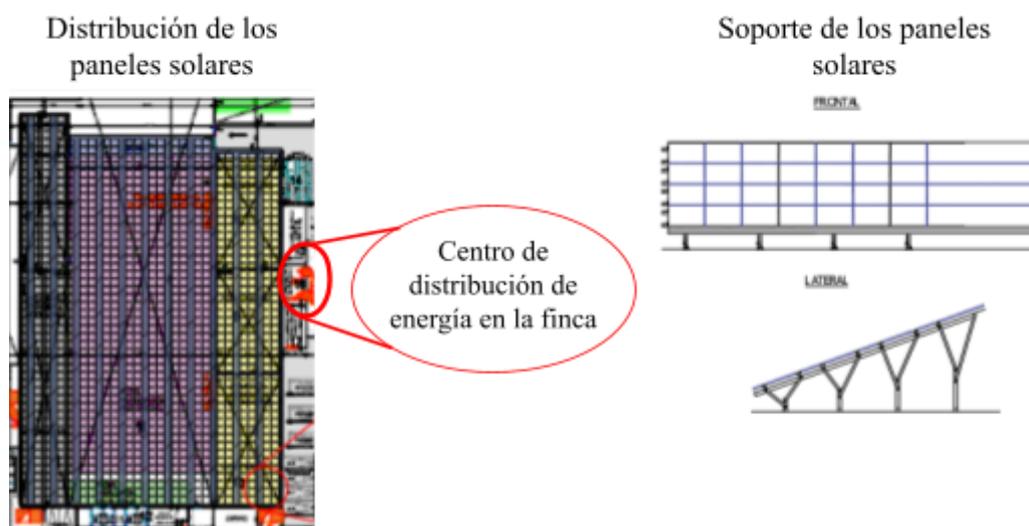
Por lo tanto, los impactos negativos que genera este tipo de energía, cuenta con distintas metodologías que permitan mitigar el impacto, en este caso se mitiga las extensas áreas para llevar a cabo el proyecto, y se propone el aprovechamiento cíclico de los recursos naturales extraídos para la producción del mismo, como nueva técnica en Colombia.

#### 12.4 Análisis general

Se cuenta con espacio apto para llevar a cabo el proyecto, un área de 7.000 m<sup>2</sup> capaz de suministrar el 17,12% de la demanda energética que tiene la finca, suministrada por 1.081 unidades de paneles solares. Dichos paneles junto con los inversores escalan una inversión inicial de \$1.676.231.100, una cifra considerablemente alta, sin embargo, se cuenta con distintos programas de financiación por medio de créditos verdes, que permiten dicha inversión, fuera de los distintos beneficios legales por la contribución al desarrollo sostenible.

Por medio del siguiente diseño se estima una tasa de retorno de 47 meses, teniendo en cuenta que dicha inversión y diseño ocasionará un ahorro de \$36.289.144 pesos mensuales, ahorro con duración de vida útil del sistema de paneles, promediado en 25 años de utilidad, es decir, \$9.181.153.432 de ahorro para la empresa.

**Figura 28.** *Diseño distribución y soportes sistema propuesto*



Sin embargo, se debe tener en cuenta que Colombia actualmente no cuenta con una adecuada disposición de los residuos generados por esta fuente de energía. Analizando planes de acción de otros países, se propone un aprovechamiento por medio de las nuevas técnicas y plantas de aprovechamiento del residuo (VEOLIA, 2017) este es un método que garantizan la recuperación del 96% de la materia prima usada en la generación del panel, material que puede ser usado para la generación de nuevos paneles solares.

### **13. Conclusiones**

El cumplimiento del primer objetivo específico del proyecto ha sido alcanzado exitosamente, identificando un área de 7.000 m<sup>2</sup> dentro de la finca que es óptima para la instalación del sistema de producción de energía solar. Esta área no sólo es adecuada debido a su exposición solar y topografía favorable, sino que su proximidad a la red de distribución de energía existente en la planta representa una ventaja significativa, simplificando la interconexión y reduciendo los costos de infraestructura.

En el proceso de alcanzar el segundo objetivo específico, se realizó una estimación precisa de los niveles de producción de energía fotovoltaica, considerando las características geográficas y la disposición del área disponible. Se calcula que el sistema de paneles solares puede generar aproximadamente 65.508,6 kWh mensuales, lo que demuestra un aprovechamiento eficaz de la energía solar en la región.

El diseño del sistema fotovoltaico, que consiste en 1.801 paneles solares, se ha completado con éxito, marcando la consecución del tercer objetivo específico. Este sistema, ahora interconectado a la red eléctrica de la finca, no solo cumple con las normativas técnicas relevantes, sino que también está planificado para ser económicamente viable a través de posibles financiaciones y beneficios gubernamentales, contribuyendo así al 17,12% de la demanda energética total de la finca floricultora.

En términos del objetivo general, se ha logrado un avance significativo al proporcionar un diseño y estudio detallado de la producción de energía fotovoltaica para la finca floricultora Kimbaya en El Rosal, Cundinamarca. Este diseño tiene la capacidad no solo de cubrir el 17,12% del consumo energético actual de la finca, sino también de fortalecer la sostenibilidad de la operación, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales. Este proyecto posiciona a la finca Kimbaya como líder en prácticas ambientales sostenibles, ya que la adopción de energía solar certifica su compromiso con una producción más limpia. En el contexto del mercado contemporáneo, esto representa una ventaja competitiva significativa, destacando los productos de la finca como preferidos por los consumidores conscientes del medio ambiente y alineados con una ética de cuidado y responsabilidad ecológica.

## **14. Recomendaciones**

Es imperativo mantener una actitud de investigación continua respecto a las innovaciones en el sector de la energía solar, dada la velocidad con la que emergen nuevas tecnologías en el mercado. Como se ha observado en el desarrollo de este proyecto, el campo de la energía fotovoltaica está en una evolución constante, con avances potenciales que podrían significar hitos revolucionarios en términos de eficiencia y sostenibilidad. No solo hay que prestar atención a los paneles solares más avanzados, sino también a los últimos desarrollos en inversores y sistemas de almacenamiento de energía, que son igualmente cruciales para el rendimiento general del sistema.

Por otro lado, es fundamental monitorear el progreso en la implementación de los paneles solares y considerarlos como una opción estratégica formal para el aprovechamiento energético en Colombia. Al adoptar y adaptar técnicas avanzadas de otros países, Colombia puede situarse a la par de las naciones líderes en la utilización de energía fotovoltaica, fomentando así una transición energética nacional hacia opciones más verdes.

En cuanto a la gestión de datos, se aconseja encarecidamente establecer y mantener una base de datos actualizada, idealmente con información procesada en tiempo real. Aunque en este proyecto se ha utilizado la base de datos del IDEAM, se reconoce que la información histórica puede no reflejar las condiciones actuales de manera precisa. Por ello, se sugiere la instalación de piranómetros en el sitio de interés, que permitan recoger datos de radiación solar de forma directa y continua. La recopilación de datos a largo plazo y de manera constante es vital para asegurar la precisión en futuros análisis y estudios, permitiendo así ajustar y optimizar el diseño y la operación del sistema fotovoltaico de acuerdo con las condiciones ambientales reales y variables del lugar.

## 15. Referencias Bibliográficas

- Acurero, G. (2023). *Las baterías de zinc-aire desplazarán a las ión-litio: son más baratas y más seguras*. Septiembre.  
<https://www.msn.com/es-cl/noticias/ciencia/las-baterías-de-zinc-aire-desplazarán-a-las-ión-litio-son-más-baratas-y-más-seguras/ar-AA1g7zgS>
- Alba solar. (2022). *Calcular potencia y tamaño de panel solar*. 8 de Abril.  
<https://albasolar.es/calcular-potencia-y-tamano-de-panel-solar/#:~:text=Habría que multiplicar la potencia,será de 1400 Wh%2Fdía>
- Alcaldía. (n.d.). *Alcaldía Rosal, Cundinamarca*. <http://www.elrosal-cundinamarca.gov.co/>
- Alusinsolar. (2022). Los 5 mayores países productores de energía solar del mundo. 05 de Mayo.  
<https://alusinsolar.com/los-5-mayores-paises-productores-de-energia-solar-del-mundo/#:~:text=China – 254 GW,-Asia está invirtiendo&text=China es líder mundial en,2015%2C cuando superó a Alemania>
- Anandas, I., & Artecona, P. (2022). *Modelado de la irradiancia solar sobre superficies inclinadas*.  
*Modelado de la irradiancia solar sobre superficies inclinadas*.
- Angel, M., & Porcel, C. (2011). Introducción a AutoCAD y 2D. *Revista Buenísima*, 1–34.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Energías Renovables*.  
<https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/Energias-Renovables.aspx#:~:text=En Colombia la producción de,reservas ya se están agotando>
- Banco Agrario de Colombia. (2023). *Crédito Verde Agropecuario*.  
<https://www.bancoagrario.gov.co/personas/productor-agropecuario/credito-verde>
- Banik, P., & Ganguly, A. (2017). Performance and economic analysis of a floricultural greenhouse with distributed fan-pad evaporative cooling coupled with solar desiccation. *Solar Energy*, 147, 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.057>
- Benavides Ballesteros H, D. (2013). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Bouhal, T., Aqachmar, Z., Kousksou, T., El Rhafiki, T., Jamil, A., & Zeraouli, Y. (2020). Energy and economic assessment of a solar air-conditioning process for thermal comfort requirements. *Solar Energy*, 208(July), 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.045>
- CAR. (2023). *Objetivos y Funciones*.  
<https://www.car.gov.co/vercontenido/5#:~:text=La%20CAR%20al%20igual%20que,su%20disposic%C3%B3n%20administraci%C3%B3n%20manejo%20y>
- Catorce6. (2021). Ranking de países con mayor capacidad de energía solar en 2021. 21 Noviembre.  
<https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/internacional/19298-ranking-de-paises-con-mayor-capacidad-de-energia-solar-en-2021>

- Celsia. (2017). *Empezó a generar energía Celsia Solar Yumbo, primera granja fotovoltaica de Colombia*. 03 de Septiembre.  
[https://www.celsia.com/es/noticias/empezo-a-generar-energia-celsia-solar-yumbo-primera-granja-fotovoltaica-de-colombia/?gclid=Cj0KCQjwhY-aBhCUARIsALNIC05bxWYbGzyG8xr\\_Qzel24A9sbPwxWd4WQHuv\\_c3e4\\_NLjw2mifDzmQaAgC8EALw\\_wcB](https://www.celsia.com/es/noticias/empezo-a-generar-energia-celsia-solar-yumbo-primera-granja-fotovoltaica-de-colombia/?gclid=Cj0KCQjwhY-aBhCUARIsALNIC05bxWYbGzyG8xr_Qzel24A9sbPwxWd4WQHuv_c3e4_NLjw2mifDzmQaAgC8EALw_wcB)
- Celsia. (2018). *Beneficios de la energía solar en Colombia*. 5 Julio.  
<https://blog.celsia.com/new/beneficios-de-la-energia-solar-en-colombia/#:~:text=Este sistema permite ofrecer un,a partir de energías limpias.>
- Editorial La República S.A.S. (2023). Ya hay 38 proyectos de energía solar en funcionamiento en el territorio nacional. 6 de Marzo.  
<https://www.larepublica.co/economia/ya-hay-38-proyectos-de-energia-solar-en-funcionamiento-en-todo-el-territorio-nacional-3560668>
- El-Desoky, E. M., Mainul Hoque, M., Youssef, M., & Mahrous, A. (2023). Seasonal morphology and solar activity dependence analysis of mid-latitude post-midnight enhancement using Global Ionospheric Map. *Advances in Space Research*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.09.061>
- Elhashash, M., & Qin, R. (2022). Cross-view SLAM solver: Global pose estimation of monocular ground-level video frames for 3D reconstruction using a reference 3D model from satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 188(October 2021), 62–74.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.03.018>
- Endesa. (2022). La energía.  
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- Enel. (2022). *Parque Solar Guayepo I&II será del tamaño de 2.000 canchas de fútbol*. 25 de Julio.  
<https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d202207-inicio-construccion-guayepo.html>
- Enel X. (2023). *¿Qué es la eficiencia de los paneles solares?*  
<https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient#:~:text=La eficiencia de los paneles solares ha mejorado espectacularmente en,eficiencia pueden alcanzar un 23 %25.>
- Energías Renovables. (2014). *Energías Renovables*. 25 de Noviembre.  
[https://www.energiarenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/#google\\_vignette](https://www.energiarenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/#google_vignette)
- Energy, D. (2022). *¿CÓMO FUNCIONAN LOS PANELES SOLARES INTERCONECTADOS A LA RED?*  
<https://www.dexen.mx/paneles-solares/funcionan-los-paneles-solares-interconectados-la-red/#:~:text=¿Qué es un sistema Interconectado,como de la red eléctrica>
- Escuela posgrado de Ingeniería y Arquitectura. (2020). *Obra civil: todo lo que necesitas saber*. 3 de Noviembre. <https://postgradoingenieria.com/obra-civil-que-necesitas-saber/>
- For, N. C. for E. information. (2022). *Centro nacional de investigación nacional*.  
<https://www.ncei.noaa.gov/>

- Gobierno de Cundinamarca. (2022). *Cundinamarca Región que progresa*.  
<https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secplaneacion/informacion-de-interes/datos-abiertos>
- Govindasamy, D., & Kumar, A. (2023). Experimental analysis of solar panel efficiency improvement with composite phase change materials. *Renewable Energy*, 212(January), 175–184.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.028>
- Gregor, P. I. M., Budzel, I. F., Štefánik, I. A., & Plinta, I. D. (2008). 3D Laser Scanning in Digitization of Current Production Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(3), 86–93.  
<https://doi.org/10.3182/20081205-2-cl-4009.00017>
- Hao, Z., Xu, Z., Feng, M., Zhang, P., You, J., & Yin, B. (2023). Seasonal variability of eddy kinetic energy in the Banda Sea revealed by an ocean model: An energy budget perspective. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 211(August), 105320.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105320>
- Hernandez, P. (2014). *LA TRAYECTORIA SOLAR*. 8 de Marzo.  
<https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/la-trayectoria-solar/>
- Hoang, A. T., Pham, V. V., & Nguyen, X. P. (2021). Integrating renewable sources into energy system for smart city as a sagacious strategy towards clean and sustainable process. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127161>
- HOGAR SENSE. (2023). *¿Qué es la radiación solar directa e indirecta?* 2 de Febrero.  
<https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta>
- IDEAM. (2018). Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 48.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Características+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Turísticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee91>
- IDEAM. (2023). *RADIACIÓN SOLAR*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IDEAM. (2023). *VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variacion-espacio-temporal1>
- IDES Energy. (2023). *¿Cuántos kWh produce un panel solar?*  
<https://www.idesenergy.com/cuantos-kwh-produce-panel-solar-calculo-energia/>
- IGAC. (2023). *Instituto Geografico Agustín Codazzi*. <https://www.igac.gov.co/>
- Katepalli, A., Wang, Y., & Shi, D. (2023). Solar harvesting through multiple semi-transparent cadmium telluride solar panels for collective energy generation. *Solar Energy*, 264(September), 112047.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112047>

- Khare, V., Khare, C., Nema, S., & Baredar, P. (2019). Prefeasibility Assessment of a Tidal Energy System. In *Tidal Energy Systems*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814881-5.00003-x>
- Kumar Vashishtha, V., Yadav, A., Kumar, A., & Kumar Shukla, V. (2022). An overview of software tools for the photovoltaic industry. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1450–1454. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.737>
- La Bodega Solar. (2023). *¿Cuál es el panel solar con más potencia?* 8 de Julio. [https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/cual-es-el-panel-solar-con-mas-potencia#:~:text=A continuación compartimos otros de los paneles más,Alpha Pure-R 430W %28430 vatios%2C 22%2C%25 de eficiencia%29](https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/cual-es-el-panel-solar-con-mas-potencia#:~:text=A%20continuaci%C3%B3n%20compartimos%20otros%20de%20los%20paneles%20m%C3%A1s,Alpha%20Pure-R%20430W%20%28430%20vatios%20%2C%2022%2C%25%20de%20eficiencia%29)
- Languages, O. (n.d.). *No*. <https://languages.oup.com/google-dictionary-es/>
- LG Electronics. (2022). *Neon 2*. [https://www.google.com/url?q=https://www.lg.com/co/business/neon-2&sa=D&source=docs&ust=1697911971162947&usg=AOvVaw0Zp3n5GBSczY3QIFB\\_UOaf](https://www.google.com/url?q=https://www.lg.com/co/business/neon-2&sa=D&source=docs&ust=1697911971162947&usg=AOvVaw0Zp3n5GBSczY3QIFB_UOaf)
- Lucia, A. (n.d.). *las fuentes de energía*. [https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14007386/helvia/aula/archivos/repositorio/250/450/html/fuentes\\_energia\\_tercer\\_ciclo/sol.html#:~:text=El sol es la estrella,la tierra no sería posible.](https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14007386/helvia/aula/archivos/repositorio/250/450/html/fuentes_energia_tercer_ciclo/sol.html#:~:text=El%20sol%20es%20la%20estrella,la%20tierra%20no%20ser%C3%ADa%20posible.)
- Mausam, K., Singh, S., Ghosh, S. K., Singh, R. P., & Tiwari, A. K. (2023). Experimental analysis of the thermal performance of traditional parallel tube collector ( PTC ) and cutting-edge Spiral tube collector ( STC ): A Comparative study for sustainable solar. *Thermal Science and Engineering Progress*, 102295. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102295>
- Martin Fearnside, P. (2019). Represas hidroeléctricas en la Amazonia brasileña: impactos ambientales y sociales. *Revista De Estudios Brasileños*, 6(11), 123–138. <https://doi.org/10.14201/reb2019611123138>
- Méndez, J., & Cuervo, R. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Fundación Confemetal, Madrid, 27-28
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER*. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fn-cer/>
- Moreno, S. (2018). *¿Qué Consumo nos Supone Utilizar el Ordenador?* 11 de Noviembre. <https://ganaenergia.com/blog/cuanto-consume-un-ordenador/>
- Obiwulu, A. U., Erusiafe, N., Olopade, M. A., & Nwokolo, S. C. (2022). Modeling and estimation of the optimal tilt angle, maximum incident solar radiation, and global radiation index of the photovoltaic system. *Heliyon*, 8(6), e09598. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09598>
- Pazmiño, C. D. C. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN LAS BODEGAS 11 Y 22 DE LA CORPORACIÓN DE ABASTOS DE BOGOTÁ S.A.*

[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2145/Camacho\\_Pazmiño\\_Cristian\\_David\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2145/Camacho_Pazmiño_Cristian_David_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pereira, M. B., Botelho Meireles de Souza, G., Romano Espinosa, D. C., Pavão, L. V., Alonso, C. G., Cabral, V. F., & Cardozo-Filho, L. (2023). Simultaneous recycling of waste solar panels and treatment of persistent organic compounds via supercritical water technology. *Environmental Pollution*, 335(August). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122331>

Portafolio 30 años. (2021). *Créditos sostenibles: cuánto dinero han prestado los bancos a empresas*. 2 de Agosto.  
<https://www.portafolio.co/economia/finanzas/creditos-sostenibles-en-colombia-bancos-que-los-tienen-y-cuanto-dinero-han-entregado-a-empresas-554642>

REPSOL. (2023). ¿Conoces todas las fuentes de energía?  
<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-primaria/index.cshtml>

Repsol. (2023). *¿Qué es la energía primaria?*  
<https://www.repsol.com/es/energia-innovacion/energia-futuro/transicion-energetica/energia-primaria/index.cshtml>

Rodriguez Zamora, D. A. (2017). Energía solar en el Departamento de Cundinamarca (Tesis de Ingeniería electrónica). *Universidad Distrital Francisco José De Caldas Ingeniería Electrónica*, 1–69. <http://hdl.handle.net/11349/6361>

Secretaría de estado de medio ambiente. (2022). Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental de proyectos de plantas solares fotovoltaicas y sus infraestructuras de evacuación.  
<https://postgradoingenieria.com/obra-civil-que-necesitas-saber/>

Solar Reviews. (2023). *¿Cuánta energía produce un panel solar?* 28 de Junio.  
<https://www.solarreviews.com/es/blog/cuanta-electricidad-produce-un-panel-solar#:~:text=Puntos destacados,hora de electricidad al día.>

SolarInfo. (2022). Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental de plantas solares fotovoltaicas. 6 de Abril.  
<https://www.solarinfo.es/2022/04/06/guia-para-la-elaboracion-de-estudios-de-impacto-ambiental-de-plantas-solares-fotovoltaicas>

Sotysolar. (2022). Inversores solares. 19 de Diciembre.  
<https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos#:~:text=Un inversor de placas solares,o verter a la red.>

Suelo solar. (2014). *Epia*. 08 de Marzo.  
<https://suelosolar.com/directorio/asociacion/belgica-bruselas/epia#:~:text=EPIA - la Asociación de la,fotovoltaica y sectores empresariales próximos>

Sun Fields EUROPE. (2023). *Panel solar SunPower MAXEON 6 AC 425W*.  
<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/sunpower/maxeon-6-ac-425w/>

- Sunshine bouquet. (2023). *sunshine bouquet*. <https://sunshinebouquet.com/>
- Trina Solar. (2021). *Trina Solar Sets New World Record of 23.03% Aperture Efficiency for 210 Vertex P-Type PERC Module*. 1 de Julio.  
<https://www.trinasolar.com/us/resources/newsroom/trina-solar-sets-new-world-record-2303-aperture-efficiency-210-vertex-p-type-perc>
- Trina Solar. (2023). *La Energía que conecta al Futuro*. <https://www.trinasolar.com/lac/product/Vertex>
- Unidas, N. (2022). *¿Qué son las energías renovables?*  
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy#:~:text=Las energías renovables son un,estas fuentes se renuevan continuamente>
- Unión temporal agroplan. (2007). *Unidad de planeación minero energética, upme* (Issue 1517).  
[https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/970/INFORME\\_FINAL.pdf;jsessionid=93A293EFB8A0438BE8ECFA0609F2C721?sequence=2](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/970/INFORME_FINAL.pdf;jsessionid=93A293EFB8A0438BE8ECFA0609F2C721?sequence=2)
- VEOLIA. (2017). *Por primera vez en Francia, PV CYCLE y Veolia reciclarán paneles fotovoltaicos antiguos*.  
<https://www.veolia.es/noticias/primera-vez-francia-pv-cycle-veolia-reciclaran-paneles-fotovoltaicos-antiguos>
- Wicaksana, A., & Rachman, T. (2018). Estudio De Factibilidad Para La Fabricación Y Comercialización Del Producto Mentholflex En El Municipio De Sogamoso. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 3(1), 10–27.  
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Yang, Z., Li, W., Chen, X., Su, S., Lin, G., & Chen, J. (2018). Maximum efficiency and parametric optimum selection of a concentrated solar spectrum splitting photovoltaic cell-thermoelectric generator system. *Energy Conversion and Management*, 174(July), 65–71.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.038>

## 16. Anexos

### Anexo 1. Plan de Trabajo

		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																																																							
Actividades	Encargado	(2022-2023) Meses/Semana																																																							
		Agosto				(Sep)				(Oct)				(Nov)				(Dic)				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
<b>Objetivo 1</b>																																																									
Investigación sistema fotovoltaico	Estudiante a cargo																																																								
Identificación de zonas adecuada para la implementación	Estudiante a cargo																																																								
<b>Objetivo 2</b>																																																									
Investigación de producción	Estudiante a cargo																																																								
Toma de datos (Rad solar)	Asistente en finca																																																								
Cálculo de producción	Estudiante a cargo																																																								
Análisis de los resultados de producción	Estudiante a cargo																																																								
<b>Objetivo 3</b>																																																									
Diseño de planos	Estudiante a cargo																																																								

Finalización de documento

Estudiante a cargo

Anexo 2. Recibo de energía de la finca floricultora por la empresa Profesionales en Energía S.A. del mes de Octubre 2022

INFORMACIÓN TÉCNICA	
Dirección: Municipio / Departamento: Rosal - Cundinamarca Información de la instalación: Kivi 3 VIA EL ROSAL Municipio / Departamento: Rosal - Cundinamarca Categoría: Industrial Equipo de Medición: ITRON ACE 6000 S/N 6050147	
Operador de Red: CODENSA Información Operador de Red y Conexión: CENTRO SUR Zona OR: (1) 6015600 / (1) 6015601 Teléfono Operador de Red: Aéreo Nivel de Tensión: DOS(2) Red:	
INDICADOR CALIDAD - TRIM 1 2019 Grupo Calidad: 4 .GRO Céd. Conexión: ER22 JGRP 0.003416 DTT: 0.227 IRAD 0.001751 JTT: 0.000 ITAO 0.000410 NU: 8.000 IPS: 0.253 Consumo medio: 289,393 COMPENSACIÓN: 16,662,769	
LIQUIDACIÓN CONSUMO ENERGÍA ACTIVA Componentes Tarifarios \$/kWh \$ Generación: 345.86 132,341,339 Comercialización: 3.39 1,295,672 Transporte Nacional (STN): 51.15 19,570,844 Distribución Local (SDL): 115.49 44,151,544 Transporte Regional (STR): 37.06 14,181,359 Pérdidas: 23.78 9,059,688 Otros (Restricciones + Aportes): 32.59 12,469,250 Subtotal Energía Activa: 808.32 233,143,686 Contribución Solidaridad (20%): Total Energía Activa: 609.32 233,143,686	
LIQUIDACIÓN PENALIZACIÓN ENERGÍA REACTIVA Componentes Tarifarios \$/kWh \$ Distribución Local (SDL): 115.49 Transporte Regional (STR): 37.06 495,753 Subtotal Energía Reactiva: 152.55 2,040,605 Contribución Solidaridad (20%): Total Energía Reactiva: 122.05 2,040,605	
VALORES FACTURADOS Concepto \$ Valor por Energía: 233,894,629 Ingreso de Terceros: 235,190,301 Ingreso Profesionales En Energía S.A. E.S.: 1,295,672 Compensaciones por Energía DES y FES: (16,682,769) Facturación Otros Cobros: 73,012 Reliquidaciones Anteriores: (6,918,079) Alumbrado Público: 377,628 Contribución Solidaridad 20%: VALOR TOTAL NETO A PAGAR: 212,040,092	
VALOR TOTAL A PAGAR: 3% CON APOORTE VOLUNTARIO: 7% "COMPARTO MI ENERGÍA": 10% VALOR TOTAL A PAGAR: 218,401,295 VALOR TOTAL A PAGAR: 226,882,899 VALOR TOTAL A PAGAR: 233,244,102	
REALIZAR EL PAGO A NOMBRE DE: Cuenta Ahorros No. 304-579595-97 del Banco BANCOLOMBIA a nombre de PROFESIONALES EN ENERGÍA S.A. E.S.P. - Nit: 900-341-483-1 Cuenta Corriente No. 012-64184-1 del Banco de Bogotá a nombre de PROFESIONALES EN ENERGÍA S.A. E.S.P. FEESA - Nit: 900-341-483-1	
INFORMACIÓN IMPORTANTE *Nuestres líneas de atención al Cliente atención nacional al usuario: Desde Celular: (033) 733 062 - 01-8000413550 * Los aportes hidrológicos al sistema interconectado nacional para el mes de OCTUBRE 2022 estuvieron al 125,95% de la media histórica, representando aportes hidrológicos por ENCIAMA del 90% de la media histórica. Lo anterior conforme a la medición Org. 123 de 2014.	
Cupón Impreso por PROFESIONALES EN ENERGÍA S.A. E.S.P. - Nit: 900-341-483-1 Vigilado por SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS SSPD Responsables del Régimen Común: No Somos Grandes Contribuyentes - No Somos Automatizados	

Anexo 3. Cotización de los paneles solares e inversores



**NARCISO GUTIERREZ MANCERA ENERGIA SOLAR**  
**INGESOLAR**  
**NIT 3142302-1**  
 Dirección: Calle 15 # 12 - 75 Centro - Teléfono: 2861451-3133344767  
 WWW.INGESOLAR.COM.CO - Solar1colombia@gmail.com

**Cotización**  
**#COT4397**  
 Fecha: 07/06/2023  
 Fecha de Vencimiento: 07/06/2023  
 Vendedor: DIDIER MENDEZ

<b>Cliente CLIENTE MOSTRADOR CLIENTE MOSTRADOR</b>	<b>CC 111111-6</b>
Dirección: BOGOTA - Bogotá, D.c. (DC), Colombia	Teléfono:

	Descripción	Cant.	Valor	Subtotal
1	PNLM27 PANEL MONOCRISTALINO 545W Voc 37.9 / Isc 18.35 -TRINA- 120 MESES DE GARANTIA	100	\$1,020,600	\$102,060,000
2	INVC07 INVERSOR ON/OFF GRID 8KW BIFASICO 48V/500VOC CON MODULO DE COMUNICACION -DEYE- 24 MESES DE GARANTIA	6	\$10,417,500	\$62,505,000
3	PROTB204 PROTECCION BREAKER SL7N-63 DC550V 2P 63A -SUNTREE	12	\$46,101	\$553,212
4	ACCC06 CABLE CABLE PV 6MM2 CU (FLEX) XLEP SR1800 90 C PVC NEGRO -PROCABLES	1	\$5,441	\$5,441
5	ACC08 MC4 PESADO - STANDAR 4mm/6mm - Z4N - 1500V -ALLYCE- SIN GARANTIA	1	\$5,203	\$5,203

-Gracias por su compra.  
 -No nos hacemos responsables de daños, o perdidas causados en los envíos.  
 -Toda instalación realizada por terceros o No facturada, Ingesolar No se responsabiliza.  
 -No se realizan devoluciones en dinero.  
 -Xtienda/ 2023 7585 501 Bancolombia/ Narciso Gutierrez /cta de ahorros  
 -El proceso de garantías es sometido a una evaluación técnica por parte de la empresa, es por ello, que los productos deben ser enviados a cualquier sucursal de la empresa, pero Ingesolar no se responsabiliza por costos de envío. Podrás consultar las condiciones de garantía en [www.ingesolar.com.co](http://www.ingesolar.com.co)

\_\_\_\_\_ **FIRMA**

<b>SUBTOTAL</b>	\$165,128,856
IVA	\$107,132.64
<b>TOTAL COTIZACIÓN</b>	<b>\$165,235,988.64</b>
AJUSTE	\$0.36
<b>TOTAL NETO</b>	<b>\$165,235,989</b>

Proveedor Tecnológico : **ALIADDO SAS NIT:830099008-5** - [www.aliaddo.com](http://www.aliaddo.com)

*Anexo 4. Producción de energía mensual, en las distintas condiciones del mes*

	Promedio	Enero	Febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
<b>RS (W/m2)</b>	425,00	475,00	425,00	425,00	375,00	375,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	375,00	425,00
<b>Ap (m2)</b>	4,41												
<b>Ef %</b>	0,22												
<b>Wp (W)</b>	404,84	452,47	404,84	404,84	357,21	357,21	404,84	404,84	404,84	404,84	404,84	357,21	404,84
<b>h</b>	5,00												
<b>Ep (kWh/dia)</b>	2,02	2,26	2,02	2,02	1,79	1,79	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	1,79	2,02
<b>Np</b>	1.081,00												
<b>Et (kWh/dia)</b>	2.188,15	2.445,58	2.188,15	2.188,15	1.930,72	1.930,72	2.188,15	2.188,15	2.188,15	2.188,15	2.188,15	1.930,72	2.188,15
<b>Et (kWh/mes)</b>	65.644,48	73.367,36	65.644,48	65.644,48	57.921,60	57.921,60	65.644,48	65.644,48	65.644,48	65.644,48	65.644,48	57.921,60	65.644,48
<b>C.E. (kWh/mes)</b>	382.639,00												
<b>%C</b>	17,16	19,17	17,16	17,16	15,14	15,14	17,16	17,16	17,16	17,16	17,16	15,14	17,16
<b>\$kWh</b>	\$554,0												
<b>Ah/mes (\$)</b>	\$36.364.417,1	\$40.642.583	\$36.364.417	\$36.364.417	\$32.086.250	\$32.086.250	\$36.364.417	\$36.364.417	\$36.364.417	\$36.364.417	\$36.364.417	\$32.086.250	\$36.364.417
<b>In (\$)</b>	\$1.676.231.100,0												
<b>T.R. (t)</b>	46,10	47,02											
<b>Ah total (\$)</b>	\$9.233.094.024	\$9.019.185.689,0											