



**Implementación De Energía Solar Fotovoltaica Para Aumentar La Eficiencia Y Reducir Costos
En La Producción De Mangos En La Hacienda La Arboleda Del Municipio De Ayapel,
Departamento De Córdoba.**

Dhania Navarro Narvaez
Diego León Serpa Márquez

Caso de estudio presentado para optar al título de Especialista en Eficiencia Energética

Asesor
Edwin Lenin Chica Arrieta Doctor (Ph.D) en Ingeniería

Universidad De Antioquia
Facultad De Ingeniería
Especialización En Eficiencia Energética
Medellín - Antioquia
2023

Cita	(Navarro Narvaez & Serpa Márquez, 2023)
Referencia	Navarro Narvaez, D., & Serpa Márquez, D. L. (2023). Implementación De Energía Solar Fotovoltaica Para Aumentar La Eficiencia Y Reducir Costos En La Producción De Mangos En La Hacienda La Arboleda Del Municipio De Ayapel, Departamento De Córdoba. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	

Especialización en Eficiencia Energética, Cohorte II.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia – www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Tabla de contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	7
Introducción	8
1 Planteamiento Del Problema	9
2 Pregunta de investigación.....	10
3 Objetivos	10
3.1 Objetivos Específicos	10
4 Impactos.....	11
5 Marco Teórico.....	12
5.1 Energías Renovables	12
5.2 Energía Solar Fotovoltaica.....	12
5.3 Energía Solar en Colombia.....	13
5.4 Costos y Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica	14
5.5 Costos de la Energía	15
5.6 Energía Requerida en el Sector Alimenticio.....	15
5.7 Cultivos de Mango en Colombia	16
5.8 Exportación de Mango	17
5.9 Marco Regulatorio	18
6 Línea Base Consumo Energía Eléctrica	19
7 Diseño de una Planta Solar Interconectada a la Red	20
7.1 Generalidades.....	20
7.2 Localización y Recurso Solar	21
7.3 Alcance.....	22
7.4 Dimensionamiento	22
7.4.1 Selección de Paneles FV:.....	22
7.5 Orientación Configuración del Arreglo de Paneles	24
7.6 Protecciones	26
7.6.1 Interruptores salida AC Inversor en conexión On Grid.....	26
7.6.2 Interruptores salida AC Inversor en conexión Off Grid.....	26
7.6.3 Totalizador	26

7.6.4	Conexión de cadena de paneles a inversor.....	27
7.6.5	Conexión de baterías a inversor.	27
7.7	Cableado DC.....	27
7.7.1	De cadena de paneles a Inversor.	27
7.8	Cableado AC.....	29
7.8.1	De Inversor a Tablero de conexión.	29
8	Evaluación financiera y económica del proyecto	30
8.1	Financiera.....	30
8.1.1	Variables de entrada.....	30
8.1.2	Tiempos de evaluación del proyecto.....	30
8.1.3	Flujo de caja	30
8.1.4	CAPEX y OPEX	31
8.1.5	Variables esperadas de salida o resultado	33
8.1.6	Interpretación y recomendación financiera	36
8.2	Económica	37
8.2.1	Ingresos por ventas	37
8.2.2	Costos de producción.....	37
8.2.3	Costos de procesamiento	37
8.2.4	Logística y transporte	37
9	Conclusiones	38
10	Referencias bibliográficas	39

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumos mensuales energía eléctrica año 2022 y costos asociados hacienda La Arboleda.....	19
Tabla 2. Análisis de mercado de un sistema solar fotovoltaico	31
Tabla 3 CAPEX	32

Lista de Figuras

Figura 1 LCOE globales de tecnologías de generación de energía renovable a escala de s ...	14
Figura 2 Componentes del sistema de interconexión a red con Huawei.....	20
Figura 3. Información de radiación solar en La Hacienda La Arboleda, Colombia.....	21
Figura 4 Características técnicas paneles TENSITE referencia EM500-PH	23
Figura 5 Especificaciones técnicas inversor on-grid de 8000 W.....	24
Figura 6. Orientación y ángulo de inclinación de los paneles de acuerdo con lo diseñado en el software PvSyst	25
Figura 7. OPEX mínimo por MWh gene	32
Figura 8. OPEX máximo por MWh generado	33
Figura 9 Valor presente neto - NPV.....	33
Figura 10 Variables que influyen sobre el NPV del proyecto	34
Figura 11 Tasa Interna de Retorno.....	34
Figura 12 Variables que influyen sobre la IIR del proyecto.....	35
Figura 13 Periodo de retorno simple.....	35
Figura 14 Variables que influyen sobre el periodo de retorno simple del proyecto	36

Resumen

El documento tiene como objetivo analizar y proponer la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en una empresa dedicada a la producción de mangos, con el fin de aumentar la eficiencia energética, reducir los costos de factura de energía y promover una imagen sostenible y amigable con el medio ambiente. Cubre los aspectos de ingeniería de la instalación de un sistema de energía solar de 8 kWp y analiza la viabilidad financiera del proyecto, con una tasa interna de rendimiento atractiva para los inversores. Destaca el uso de software como PVSyst y bases de datos como Meteonorm 8.0 de la NASA para obtener datos sobre la radiación solar. El documento hace hincapié en la ventaja competitiva de la implementación de sistemas de energía solar, ya que los consumidores están cada vez más interesados en apoyar las prácticas sostenibles.

Abstract

The document aims to analyze and propose the implementation of photovoltaic solar energy systems in a company dedicated to the production of mangoes, in order to increase energy efficiency, reduce energy bill costs and promote a sustainable and environmentally friendly image. It covers the engineering aspects of installing an 8 kWp solar power system and analyzes the financial viability of the project, with an internal rate of return attractive to investors. The use of software such as PVSyst and databases such as NASA's Meteonorm 8.0 to obtain data on solar radiation stands out. The document emphasizes the competitive advantage of implementing solar energy systems, as consumers are increasingly interested in supporting sustainable practices.

Introducción

En las últimas décadas la búsqueda de fuentes de energía renovable se ha convertido en una prioridad crucial, no solo en la mitigación del cambio climático sino también como alternativa para brindar a la sociedad fuentes de energía más sostenibles en el tiempo. En este contexto, la implementación de energía solar fotovoltaica emerge como una solución innovadora y eficiente para abordar los desafíos energéticos en diversos sectores económicos.

En la Hacienda La Arboleda, ubicada en el municipio de Ayapel, en el Departamento de Córdoba, la producción de mangos es una actividad agrícola vital que contribuye significativamente al desarrollo económico local. Sin embargo, como en muchas otras áreas, la producción agroindustrial enfrenta desafíos relacionados con los costos energéticos y la necesidad de reducir la huella ambiental. Por esta razón, este trabajo tiene como objetivo analizar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica en la Hacienda La Arboleda, con el fin de aumentar la eficiencia energética, reducir los costos de factura de energía y promover una imagen sostenible y amigable con el medio ambiente.

Para lograr este propósito, se ha realizado un análisis de la información relacionada con los consumos energéticos presentes en las facturas de servicios de la Hacienda La Arboleda. Este análisis permitió construir una línea base que refleja con precisión los patrones y necesidades energéticas actuales de la hacienda. Posteriormente, con base en esta línea base, se diseñó un sistema solar fotovoltaico adaptado a las características energéticas específicas de la hacienda. Este diseño no solo busca satisfacer las demandas energéticas existentes, sino también maximizar la eficiencia del sistema. Además, se llevó a cabo un diagnóstico financiero y económico detallado para evaluar las necesidades y los beneficios asociados con la implementación del sistema solar. Esto implica considerar los costos involucrados en la instalación y mantenimiento del sistema.

En conclusión, los resultados de este documento abarcan desde el análisis de datos específicos de consumo hasta la proyección financiera, con el objetivo final de determinar de manera integral los requisitos de costos y los beneficios en términos de eficiencia energética, guiando así la implementación efectiva del sistema de energía solar fotovoltaica en la Hacienda La Arboleda.

1 Planteamiento Del Problema

En la industria de cultivo de mangos, la alta demanda de energía eléctrica representa un desafío en términos de eficiencia y costos operativos. El uso de fuentes convencionales de energía conlleva una factura de energía considerable y una huella ambiental significativa.

La Hacienda La Arboleda se enfrenta a desafíos en términos de eficiencia energética y costos operativos debido al deficiente servicio de energía en el municipio de Ayapel, departamento de Córdoba. Además, se proyecta un aumento en los costos de energía debido al fenómeno del niño que afectará la disponibilidad de agua para la generación, teniendo en cuenta que alrededor del 70% de la matriz energética del país proviene de hidroeléctricas. Debido a que las empresas con cargo por confiabilidad en Colombia deben entrar en operación para satisfacer la demanda energética del país, es importante tener en cuenta que esto podría resultar en un aumento en los costos de energía, dado que su producción proviene de fuentes convencionales con costos de generación más altos.

La producción de mangos requiere un consumo significativo de energía eléctrica para el riego, el acondicionamiento de las instalaciones, la conservación de la fruta y otros procesos relacionados. La implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica permitirá a la empresa aprovechar una fuente de energía renovable y limpia, reduciendo su dependencia de fuentes convencionales de energía y disminuyendo los costos asociados.

Además, la adopción de energía solar fotovoltaica ayudará a la empresa a cumplir con los estándares ambientales y de sostenibilidad, obteniendo un sello verde para sus productos. Esto proporcionará una ventaja competitiva en el mercado, ya que los consumidores cada vez están más interesados en apoyar empresas que implementen prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

2 Pregunta de investigación

¿Cómo puede la hacienda la Arboleda beneficiarse de la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica para mejorar su eficiencia energética, reducir los costos de energía y obtener un sello verde en sus productos?

3 Objetivos

Analizar y proponer la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en una empresa dedicada a la producción de mangos, con el fin de aumentar la eficiencia energética, reducir los costos de factura de energía y promover una imagen sostenible y amigable con el medio ambiente.

3.1 Objetivos Específicos

Analizar el consumo actual de energía eléctrica en la empresa de mangos, utilizando como referencia las facturas de energía disponibles, con el objetivo de identificar patrones y áreas de potencial optimización en términos de demanda energética

Diseñar una planta solar eficiente y sostenible para la empresa de mangos, considerando factores como la ubicación geográfica, la capacidad energética requerida y las características del consumo eléctrico actual

Realizar un análisis económico para determinar la viabilidad financiera y la huella de carbono de la implementación de los sistemas de energía solar fotovoltaica en la empresa.

4 Impactos

La implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en la empresa de cultivo de mangos generará varios impactos positivos:

Reducción significativa de los costos de energía: Al aprovechar la energía solar gratuita y renovable, la empresa podrá reducir sus costos de factura de energía y mejorar su rentabilidad a largo plazo.

Mayor eficiencia energética: El uso de energía solar fotovoltaica permitirá a la empresa generar electricidad de manera más eficiente y optimizar su consumo energético, lo que contribuirá a una operación más sostenible y rentable.

Imagen sostenible y valor agregado: La adopción de energía solar fotovoltaica posicionará a la empresa como un actor comprometido con la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Esto fortalecerá su reputación, atraerá a consumidores conscientes y creará oportunidades de diferenciación en el mercado.

5 Marco Teórico

5.1 Energías Renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpia y sostenible derivada de la naturaleza, que se reponen continuamente y se derivan directamente del sol (como la energía térmica y fotovoltaica), indirectamente del sol (como la energía eólica, hidroeléctrica y fotosintética almacenada en biomasa o de otros movimientos y mecanismos naturales del medio ambiente (como la energía geotérmica y de las mareas). La energía renovable no incluye los recursos energéticos derivados de combustibles fósiles. (Ellabban et al., 2014).

5.2 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es electricidad obtenida directamente de la conversión de energía solar. La conversión de la radiación solar en electricidad ocurre debido al efecto fotovoltaico, que fue observado por primera vez por Becquerel en 1839. Este efecto se presenta en materiales conocidos como semiconductores, los cuales presentan dos bandas de energía, en una de ellas se permite la presencia de electrones y en la otra no hay presencia de los mismos, es decir, la banda se encuentra completamente “vacía”. El material semiconductor más utilizado es el silicio, segundo elemento más abundante en la Tierra. (Sampaio & González, 2017).

Entre las diversas tecnologías de energía solar de fuentes de energía sostenibles, la fotovoltaica (PV) parece bastante atractiva para la generación de electricidad porque es silenciosa, no emite dióxido de carbono durante la operación, tiene flexibilidad de escala y es bastante simple de operar y mantener (Dinçer, 2011).

El desarrollo de esta tecnología se realiza a partir del uso de células solares. La radiación solar y la temperatura de la celda son dos factores que afectan el rendimiento de un módulo fotovoltaico. Además de estos factores, la cantidad de energía suministrada por un módulo fotovoltaico depende de otros factores, como la confiabilidad de otros componentes del sistema general y otras condiciones ambientales (Maghami et al., 2016). Sin embargo, los avances en los materiales y las pruebas de durabilidad de los módulos solares han generado

que se tenga una alta probabilidad de poder funcionar adecuadamente durante 30 años en condiciones de funcionamiento típicas (Kim et al., 2021).

El precio de los módulos fotovoltaicos ha disminuido en un 25% cada vez que se ha duplicado la producción de 1980 a 2019 (Kim et al., 2021), lo que aporta en el desarrollo de la tecnología, volviéndola más accesible al mercado. Se espera que la energía fotovoltaica produzca una parte significativa de la energía consumida en todo el mundo y se convierta en una de las principales fuentes de energía mundiales en este siglo (Xu et al., 2018).

5.3 Energía Solar en Colombia

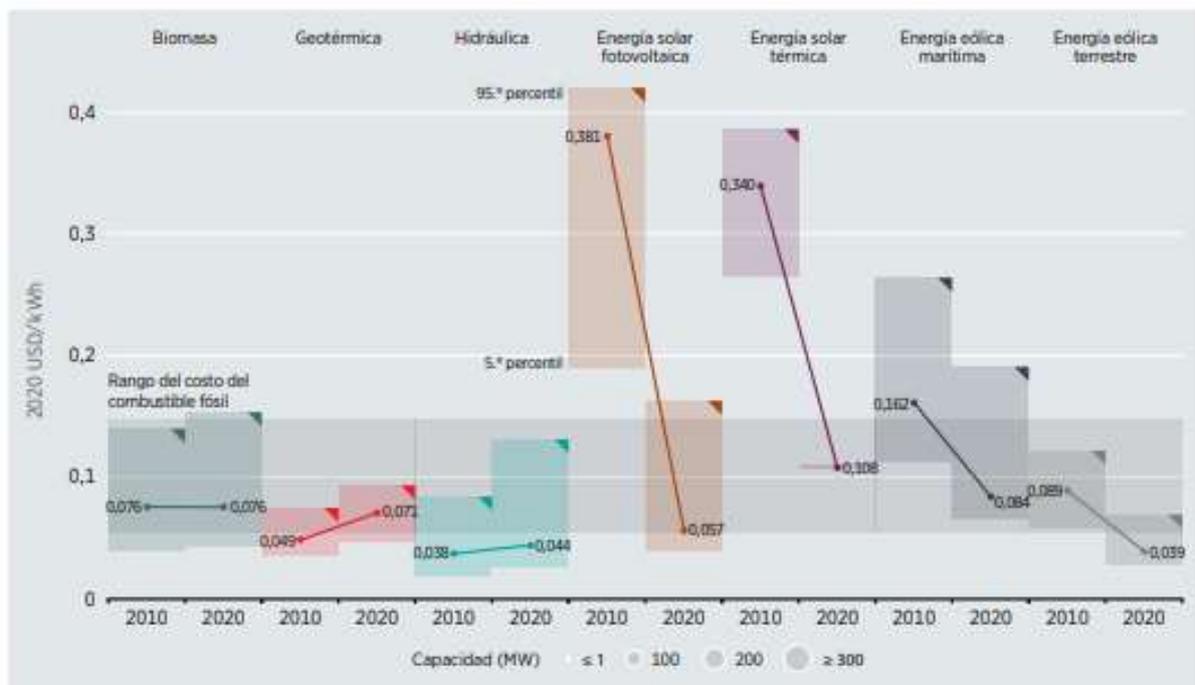
La motivación del uso de la energía solar en Colombia se fundamenta en la proyección que la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) hizo en el año 2015, con relación a esta fuente energética de la cual se proyecta que para 2028 alrededor de 13.75% de los 3,275 MW instalados corresponda a la misma (Serrano Guzmán et al., 2017). Estas conclusiones se fundamentan en que Colombia tiene una radiación solar promedio más alta que la mayoría de los países de Europa o Estados Unidos. La península de la Guajira en el noreste y la llanura del Orinoco en el este de Colombia alcanzaron los valores nacionales más altos de 6,0 kWh/m² (Mordor Intelligence, 2023)

El Gobierno colombiano ha implementado medidas para incentivar la inversión en energías renovables, como exenciones fiscales, beneficios tarifarios y subastas de energía renovable. Estos incentivos han contribuido a aumentar el atractivo de los proyectos solares fotovoltaicos para los inversores. La energía solar se ha acelerado desde 2019, con un aumento de la capacidad total de más del 10 % y alcanzando los 107 MW en 2020. En general, el sector de energía solar de Colombia experimentará un crecimiento decente (Mordor Intelligence, 2023).

5.4 Costos y Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica

Figura 1

LCOE globales de tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios



Nota: Esta figura muestra el costo nivelado de energía como indicador financiero para comparar los costos de energía de diferentes fuentes. Por International Renewable Energy Agency – IRENA, 2021.

Efectivamente, en los últimos años ha habido una notable disminución en los costos de los paneles solares fotovoltaicos. En primer lugar, cabe destacar el incansable progreso en la eficiencia de los paneles solares, impulsado por una investigación constante y la aplicación de innovaciones tecnológicas que han optimizado la captación y conversión de la radiación solar en electricidad. Asimismo, esta reducción de costos se ha visto potenciada por el incremento sostenido en la producción a gran escala de paneles solares fotovoltaicos. La creciente demanda, combinada con economías de escala bien gestionadas, ha permitido la optimización de los procesos de fabricación, generando eficiencias que se traducen directamente en una disminución en los costos unitarios de producción. (World energy investment 2021 datafile, 2021).

La caída de los precios de los paneles solares ha llevado a una mayor adopción de la energía solar en todo el mundo. Los sistemas solares fotovoltaicos se están convirtiendo en

una opción viable tanto para hogares como para empresas, lo que les permite generar su propia electricidad y reducir su dependencia de la red eléctrica convencional. Esto se traduce en ahorros a largo plazo en las facturas de energía y en una mayor estabilidad en los costos energéticos.

Además de los beneficios económicos, la energía solar fotovoltaica ofrece importantes beneficios ambientales. Al utilizar una fuente de energía renovable, se reduce la dependencia de los combustibles fósiles y se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero (Boxwell, 2010). La generación de electricidad a partir de paneles solares no produce emisiones directas durante su funcionamiento, lo que contribuye a mitigar el cambio climático y a mejorar la calidad del aire (United Nations, n.d.).

5.5 Costos de la Energía

Según el Banco Mundial, el aumento de los precios de la energía en los últimos dos años ha sido el más pronunciado desde la crisis petrolera de 1973. En Colombia el precio de la energía eléctrica también se ha incrementado de manera importante. Entre los meses previos a la pandemia y hasta abril de 2021 este indicador no mostró una tendencia clara y se mantuvo oscilando en una cifra cercana a la meta de inflación. No obstante, a partir de mayo de 2021 comenzó una escalada alcista en su ajuste anual de tarifas, alcanzando su techo reciente en octubre del año pasado (28,53%), un dato que no se observaba desde noviembre de 2000 (28,40%) (Banco de La República de Colombia, 2023).

5.6 Energía Requerida en el Sector Alimenticio

El sector de alimentos en Colombia requiere una cantidad significativa de energía para llevar a cabo sus diversas actividades, que van desde la producción y procesamiento de alimentos hasta su almacenamiento y distribución.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), alrededor de 30% de toda la energía utilizada en el mundo se dedica a sostener el sistema alimentario mundial y se producen más de 20% de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por su parte, la UPME indica que el subsector de alimentos y bebidas representa el 20% o 30% del consumo de energía en el sector industrial.

5.7 Cultivos de Mango en Colombia

En las últimas décadas, el mango ha adquirido una gran importancia en la economía agrícola nacional, gracias al creciente interés y demanda de frutas tropicales a nivel mundial. Consciente de esto, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha implementado estrategias para impulsar y fortalecer la cadena productiva del mango en Colombia (Ministerio de Agricultura, 2019).

La Organización de Cadena de Mango comenzó su proceso en 2010, involucrando a todos los actores de la cadena productiva. Durante este proceso, se llevó a cabo la priorización y zonificación de la productividad en el sector manguicultor, el cual se distribuye de la siguiente manera (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Zona Centro: Cundinamarca y Tolima

Zona Costa Caribe: Atlántico, Cesar, y Magdalena

Zona occidente: Antioquia y Córdoba.

Zona Pacifico: Cauca y Valle del Cauca

La temporada de cosecha del mango

De acuerdo con la cadena productiva del mango, durante los meses de agosto, septiembre y octubre se presenta la floración y el llenado de la fruta que estará disponible para la cosecha gruesa y el abastecimiento durante los meses de noviembre y diciembre, extendiéndose hasta los primeros meses del año. (DANE, 2015)

Durante el período comprendido entre 2014 y 2018, se han realizado inversiones significativas en el sector del mango. A través del Fondo de Fomento Hortifrutícola (FFH), se destinaron cerca de \$884.400.000 millones de pesos a proyectos productivos, adaptación de tecnologías y procesos de monitoreo de la mosca de la fruta. Además, se han otorgado cerca de \$145.965.874.420 millones de pesos a través de FINAGRO para respaldar la producción de mangos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

En términos de incentivos, se estima que se han brindado apoyos por un total de \$231.545.762 millones de pesos a través de la Línea Especial de Crédito (LEC), y se ha invertido

un monto de \$8.277.027.767 millones de pesos en el Incentivo a la Capitalización Rural (ICR) en el periodo mencionado. Estos recursos se han destinado a la mejora de la infraestructura agrícola, la renovación, plantación y mantenimiento de los cultivos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Por otro lado, se han entregado \$730.757.171 millones de pesos en proyectos de alianzas productivas entre 2014 y 2018. En resumen, se estima una inversión total de \$152.185.911.028 millones de pesos en el sector del mango durante ese periodo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Estas estrategias y el apoyo económico evidencian el compromiso del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en fortalecer la producción de mango y fomentar el desarrollo económico de los agricultores que se dedican a este cultivo en nuestro país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

5.8 Exportación de Mango

De acuerdo con las cifras del año 2020 Colombia exportó a 24 mercados. Estas exportaciones representan montos iguales o superiores a USD 10.000 (Lastre Mancera, et al, 2022).

Durante el período comprendido entre 2019 y 2021, Colombia logró exportar por primera vez a países como Venezuela, Hong Kong, Bahrein, Guatemala, Ucrania y Malasia, lo que ha contribuido a diversificar los destinos de exportación.

La Región Caribe de Colombia tiene un gran potencial en la comercialización del Mango Tommy, principalmente hacia Estados Unidos, China, Panamá, Ecuador, Brasil y México; así mismo, abastece la demanda interna del país. En el año 2019 la región Caribe produjo 13.980 toneladas de mango (5.4% del total producido en Colombia) y los departamentos productores son Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y César (Martínez, D., et al, 2022).

Entre las variedades de mango sembradas en Colombia, predomina el mango de Hilacha (39%), Tommy (20%), Keitt (10%), Yulima (10%) y Mango de Azúcar (5%) (ICA, 2023).

En resumen, se ha observado un aumento en la diversificación de los mercados de exportación de mango de Colombia, incluyendo la incursión en nuevos destinos.

5.9 Marco Regulatorio

Ley 2099 de 2021: Establece una serie de disposiciones para la transición energética en Colombia, que buscan modernizar la legislación vigente y dinamizar el mercado energético, a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía.

Resolución CREG 030 de 2018: Esta resolución establece las condiciones técnicas y comerciales para la conexión de sistemas de generación distribuida al sistema eléctrico de Colombia.

Ley 1715 de 2014: Esta ley establece las condiciones para la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia, incluyendo la energía solar fotovoltaica.

Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas: Este reglamento establece los requisitos técnicos y de seguridad para la instalación de sistemas de generación de energía eléctrica en Colombia.

Ley 697 de 2001: Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

6 Línea Base Consumo Energía Eléctrica

Por medio de la administración de la Hacienda La Arboleda, se realizó la construcción de la línea base por medio de la información sobre el consumo de electricidad que tienen, el cual está reflejado en la factura de energía suministrada por AFINIA que es el operador de red en la zona que les proporciona este suministro de energía.

El consumo se distribuye, principalmente, en el uso de electrodomésticos, aire acondicionado, iluminación y el uso de bombas para extraer el agua necesaria en todos los procesos de la producción.

En la Tabla 1 se describen los consumos mensuales de energía eléctrica para el año 2022 y sus costos asociados a la conexión actual.

Tabla 1.
Consumos mensuales energía eléctrica año 2022 y costos asociados hacienda La Arboleda

Año	Mes	Consumo KWh/mes	Días facturados	Costo kWh	Costo factura
2022	Enero	1042	31	727,18	\$ 757.721,56
	Febrero	1122	28	727,18	\$ 815.895,96
	Marzo	1122	31	727,18	\$ 815.895,96
	Abril	1289	30	727,18	\$ 937.335,02
	Mayo	825	25	727,18	\$ 599.923,50
	Junio	916	33	727,18	\$ 666.096,88
	Julio	961	31	756,26	\$ 726.765,86
	Agosto	865	31	756,26	\$ 654.164,90
	Septiembre	590	30	756,26	\$ 446.193,40
	Octubre	1151	31	822,8	\$ 947.042,80
	Noviembre	1022	33	798,12	\$ 815.678,64
	Diciembre	320	31	798,12	\$ 255.398,40

Nota: En esta tabla se describen los consumos de energía eléctrica de acuerdo con los valores obtenidos en la facturación realizada por la empresa AFINIA Grupo EPM, encargada de prestar el servicio de electricidad en la hacienda La Arboleda.

7 Diseño de una Planta Solar Interconectada a la Red

7.1 Generalidades

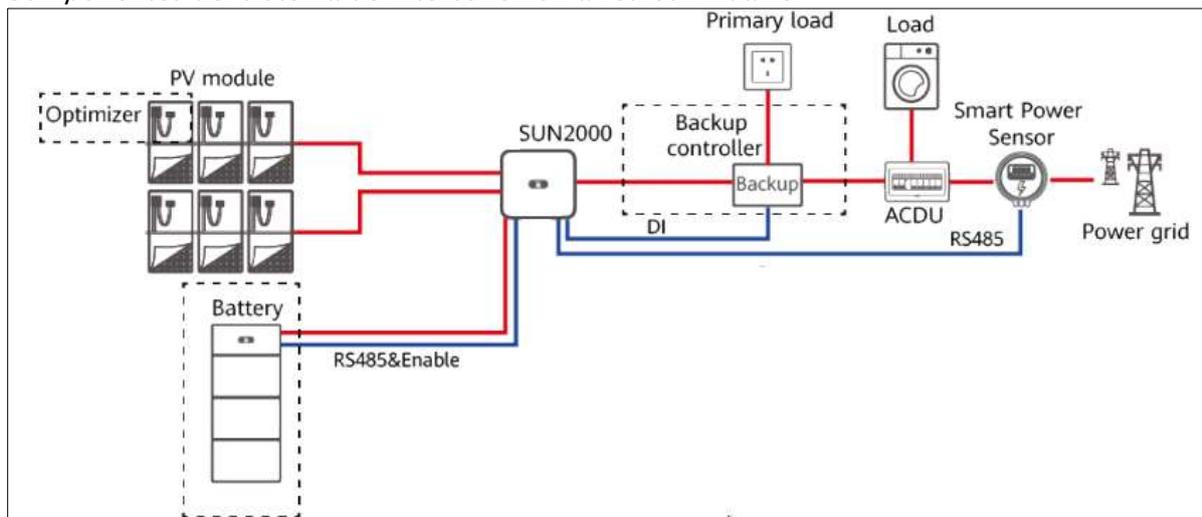
El sistema de energía solar busca suplir la energía eléctrica a través de la generación de energía solar fotovoltaica con la particularidad de interconexión a red, es decir, el sistema proporcionará energía eléctrica limpia durante horas de radiación solar mientras que usará la red eléctrica nacional como proveedor de energía en ausencia de radiación solar. Se describe a continuación un sistema compuesto por 8kwp proporcionando una generación de energía anual de 12,6MWh/año aproximadamente para una radiación solar diaria efectiva en Ayapel – Córdoba de 4,96 horas (hrs) en promedio.

El sistema solar desarrollado está conformado por un inversor Huawei de conexión a red. Los inversores solares Huawei son equipos altamente eficientes que convierten la corriente directa de un arreglo fotovoltaico en corriente alterna que alimentan a la red de distribución cumpliendo todas las normas y certificaciones exigidas para inyectar energía a la red, además de permitir conectar un banco de baterías por si el usuario lo requiere.

La operación de un sistema de conexión a red con inversor Huawei y sus componentes se identifica en la Figura 2.

Figura 2

Componentes del sistema de interconexión a red con Huawei



Nota: Diagrama unifilar de conexiones del sistema. Ver Anexo 1. Manual Inversor Huawei – SUN 2000– (3KTL–10KTL) – M1

7.2 Localización y Recurso Solar

El proyecto de la planta solar integrada a red se encuentra ubicado en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia. Es importante mencionar que Colombia está ubicada en el hemisferio norte, esto determinará la orientación de los paneles solares al momento de la instalación.

En la Figura 3 se presenta la tabla con valores de radiación para Ayapel, en la ubicación de la Hacienda La Arboleda.

Sitio Los Monos (Colombia)						
Fuente de datos	Meteonorm 8.0 (1991-2007), Sat=100%					
	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	[-]	%
Enero	4.82	2.14	26.7	1.60	3.595	77.5
Febrero	4.66	2.57	27.0	1.69	4.082	76.4
Marzo	5.11	2.67	27.5	1.79	4.647	76.8
Abril	5.37	2.78	27.6	1.70	4.417	78.4
Mayo	5.58	2.58	28.8	2.19	3.700	73.2
Junio	5.70	2.27	28.6	2.90	3.627	71.5
Julio	5.71	2.53	29.1	3.01	3.859	67.7
Agosto	5.65	2.53	29.5	2.90	3.667	66.7
Septiembre	4.89	2.57	29.2	2.49	4.098	68.5
Octubre	4.10	2.47	28.6	1.89	3.488	73.1
Noviembre	4.02	2.25	27.1	1.51	3.421	80.8
Diciembre	3.93	2.15	27.0	1.49	3.561	79.7
Año	4.96	2.46	28.0	2.1	3.847	74.2
Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.7%						

Figura 3.

Información de radiación solar en La Hacienda La Arboleda, Colombia.

Nota: Esta figura muestra los valores de radiación solar del área de evaluación de este proyecto, estos resultados se tomaron del software PvSyst 7.2, el cual obtiene su información de bases de datos de la Meteonorm 8.0 del National Aeronautics and Space Administration - NASA.

7.3 Alcance

El alcance de la propuesta abarca la ingeniería básica y de detalle necesaria para instalar 8kwp en potencia fotovoltaica en la Hacienda La Arboleda en el municipio de Ayapel, Colombia.

La ingeniería básica y de detalle abarca desde el diseño del sistema fotovoltaico y la presente documentación que soporta dicho diseño hasta dimensionamiento de componentes eléctricos, listado de cables en campo, y listado de materiales de instalación. Los planos As Built de la ingeniería de detalle se deben entregar actualizados en revisión 0 una vez instalado el sistema en campo y no están dentro del alcance de la presente entrega.

7.4 Dimensionamiento

La energía que se quiere suplir para la hacienda La Arboleda se obtuvo sacando un promedio del consumo del año 2022, el cual se obtuvo de la factura de energía que les suministra AFINIA, empresa operadora de red en la zona, el resultado fue de 935,42 kWh/mes, teniendo un consumo diario de 31,18 kWh/día.

A la energía total de la instalación (E_T) de 31,18 [kWh-día] se le aplica un factor de seguridad (F_s) que representa las pérdidas por efecto de la temperatura (se tomó como temperatura promedio 30°C), perdidas por cableado y por corrección por irradiación. Para el presente diseño se aplicó un factor de seguridad (0,75) para sobredimensionar el sistema en caso de presentar mayores pérdidas, y con este valor se calculó la potencia pico de la instalación (P_{pFV}) para la peor condición de irradiación promedio. De la siguiente manera:

$$P_{pFV} = \frac{31,18 \text{ kWh}}{4.96 \text{ h} * 0,75} = 7,86 \approx 8 \text{ kW} \quad (1)$$

7.4.1 Selección de Paneles FV:

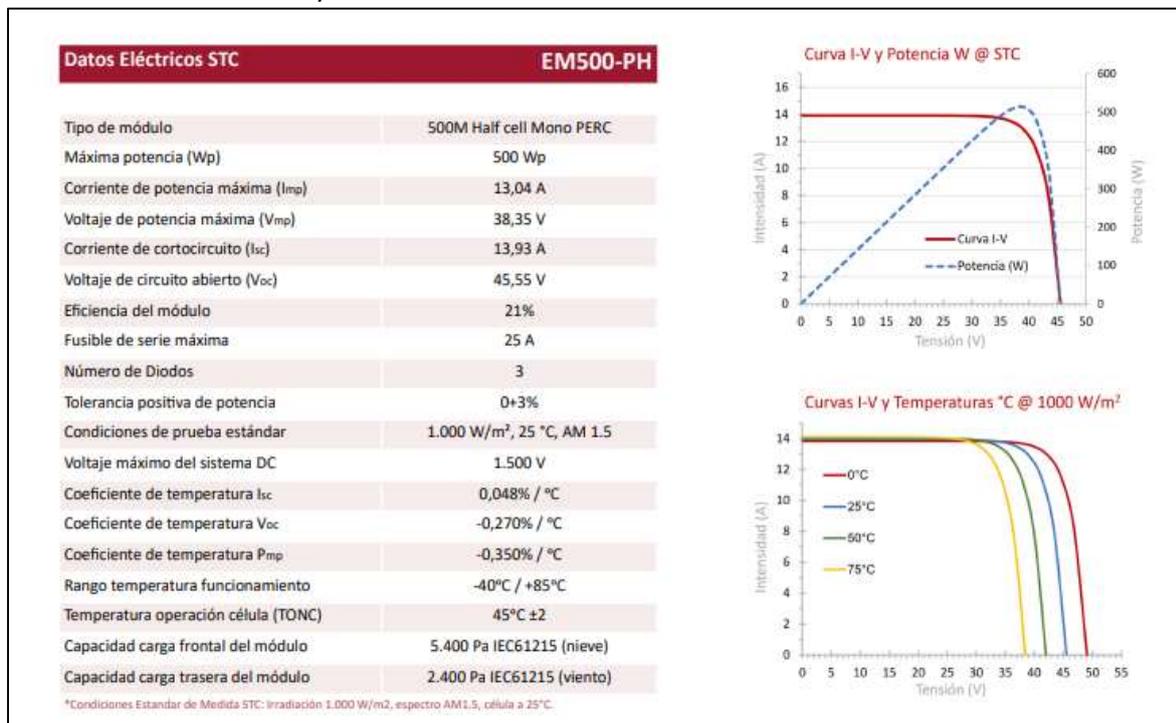
Para determinar el generador fotovoltaico se consultaron las características principales de paneles FV de diferentes potencias que operaran a tensiones nominales de 45,55 VDC, por presentar mejores condiciones de montaje, maniobrabilidad y uso en aplicaciones comerciales pequeñas.

Se determinó utilizar paneles de 500 Wp monocristalinos marca TENSITE referencia EM500-PH debido a su uso extendido en aplicaciones comerciales pequeñas y su excelente rendimiento. Además, cuentan con una potencia nominal que facilita la obtención de números enteros divisibles para la potencia pico que se tiene en la instalación (Figura 4). Se determinó el número de módulos fotovoltaicos (#M) necesarios para suministrar la energía demandada por la hacienda, dividiendo la potencia pico entre la potencia nominal del panel FV de la siguiente manera:

$$\text{Número de Paneles FV} = \frac{P_{pFV}}{\text{Potencia del panel seleccionado}} = \frac{8\text{kwp}}{0.5\text{kwp}} = 16 \quad (2)$$

Figura 4

Características técnicas paneles TENSITE referencia EM500-PH



Nota: Ver anexo 2. Ficha técnica panel EM500-PH

Para la selección del inversor se tuvo en cuenta la potencia pico a instalar en paneles solares, la eficiencia de conversión del inversor y el voltaje nominal del sistema AC y DC. De acuerdo a los valores obtenidos previamente se buscaron las características principales de inversores de red trifásicos.

La potencia del inversor debe ser superior o igual a la potencia pico a instalar en paneles solares (8 kW), además debe contar con la posibilidad de suministrar la potencia

necesaria de las cargas que demanden potencias elevadas de arranque. También se considera la posibilidad de brindar almacenamiento en baterías para una futura consideración, debido a que algunas veces no se cuenta con el servicio de energía en la zona. Se determinó utilizar un inversor on-grid de 8000 W de entrada máxima de 1.100 V DC.

Figura 5

Especificaciones técnicas inversor on-grid de 8000 W

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 (High Current Version)						
Technical Specification						
Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
Efficiency						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
Input (PV)						
Recommended max. PV power ¹	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage ²	1,100 V					
Operating voltage range ³	140 V ~ 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	13.5 A					
Max. short-circuit current	19.5 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					
Input (DC Battery)						
Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh ~ 30kWh					
Operating voltage range	600 V ~ 980 V					
Max operating current	16.7 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
Output (On Grid)						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA ⁴
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
Output (Off Grid)						
Backup Box	Backup Box - B1					
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range	0.8 leading ... 0.8 lagging					

Nota: Ver Anexo 3: Ficha técnica inversor on-grid de 8000 W

En resumen, se plantea el diseño de una planta solar trifásica integrada a la red a partir de un Inversores Huawei SUN2000-8KTL-M1 de 8.000W y paneles solares de 500Wp. Se propone el uso de 16 paneles por inverso, con lo cual se tiene una potencia pico total de 8000W. El voltaje de operación de la planta es de 208VAC L-L / 120VAC L-N y opción trifásica 400VAC 3L con neutro y tierra.

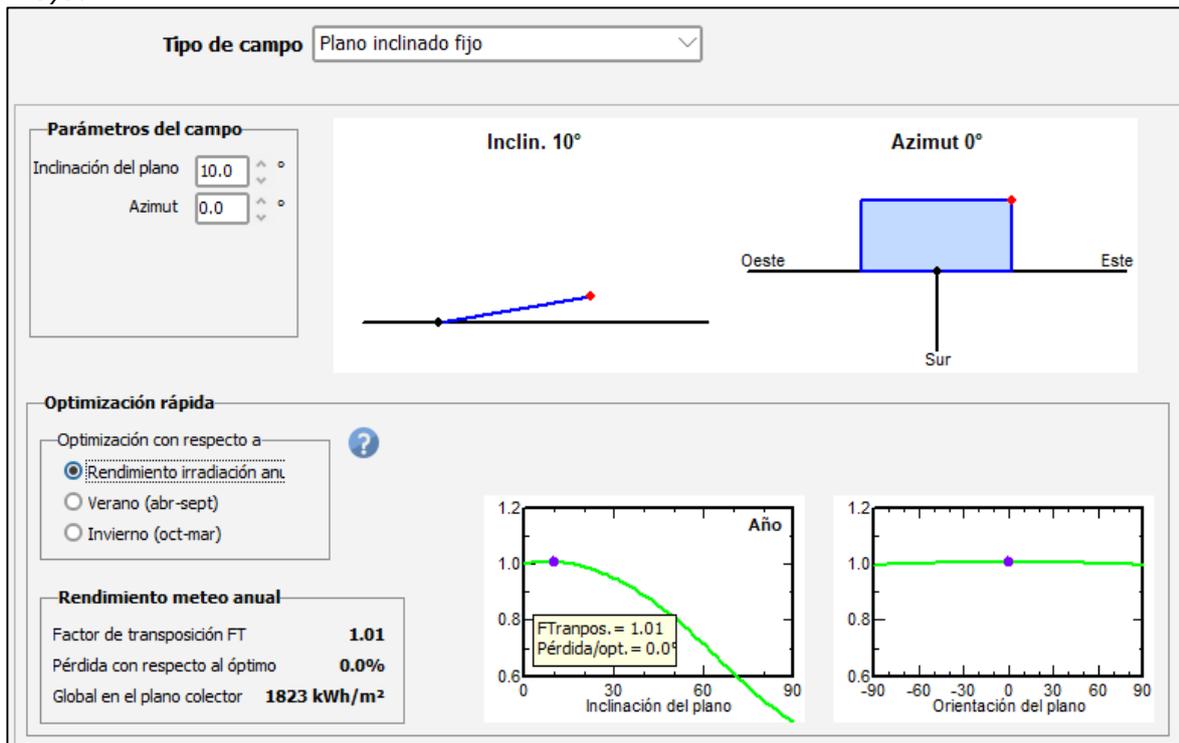
7.5 Orientación Configuración del Arreglo de Paneles

La orientación y ángulo de inclinación de los paneles depende exclusivamente de la ubicación geográfica del proyecto. Debido a que Ayapel se encuentra situado en el hemisferio

norte y la latitud del lugar es 8.3227 y longitud de -75.1639 , los paneles deben ir orientados hacia el sur. En cuanto a la inclinación, aunque la latitud sugiere 8° , se propone un ángulo de 10° por motivos de mantenimiento y para que, en momentos de lluvia, el agua pueda correr y limpiar los paneles de forma eficiente.

Figura 6.

Orientación y ángulo de inclinación de los paneles de acuerdo con lo diseñado en el software PvSyst



Nota: Fuente: Simulación Software PvSyst 7.2

Se debe diseñar la configuración de los paneles de tal manera que el voltaje de circuito abierto ($V_{OC_{pv}}$) y la corriente de corto circuito ($I_{CC_{pv}}$) del arreglo de paneles estén dentro de los límites admisibles de trabajo del Inversor. Con esto, debido a que el inversor tiene 2 entradas MPPT, se conectarán 2 cadenas de 8 paneles en serie cada una a cada entrada MPPT del inversor. Ahora bien, teniendo en cuenta los valores de I_{sc} y V_{oc} en condiciones estándar de temperatura (25°C) de las celdas se tiene:

$$V_{pv} = 8 * V_{oc} = 8 * 45,55V = 364,4 \text{ VDC} \quad (3)$$

$$I_{pv} = 1 * I_{sc} = 1 * 13,93 \text{ A} = 13,93 \text{ A} \quad (4)$$

Con esto podemos confirmar que el máximo voltaje que va a recibir el inversor es de 728,8 VDC y 13,93 A (364,4 VDC por cada cadena de paneles), con lo cual podemos confirmar que se encuentra en el rango de trabajo óptimo del inversor 140 –980 VDC y 19,5 A (Figura 5)

7.6 Protecciones

7.6.1 Interruptores salida AC Inversor en conexión On Grid.

El inversor cuenta con tres líneas de salida. La potencia máxima de salida por cada línea del inversor es de 2933W, observando ficha técnica del inversor (Figura 5) podemos encontrar la corriente máxima de salida y a esta se le aplica un factor de seguridad del 25% exigido por la norma, por lo que la corriente mínima para la protección es la siguiente:

$$I_{AC}=13,5 \text{ A} *1,25 \quad (5)$$

$$I_{AC}=13,5 \text{ A} *1,25=16,9 \text{ A} \quad (6)$$

Con esto, se selecciona un interruptor termomagnético para tablero de 20A nominales, capacidad de corto circuito de 10kA.

7.6.2 Interruptores salida AC Inversor en conexión Off Grid.

La potencia máxima de salida del inversor en conexión Off Grid es de 3300VA, observando la ficha técnica del inversor (imagen x) podemos encontrar la corriente máxima de salida y a esta se le aplica un factor de seguridad del 25% exigido por la norma, por lo que la corriente mínima para la protección es la siguiente:

$$I_{AC}=15 \text{ A} *1,25 \quad (7)$$

$$I_{AC}=15 \text{ A} *1,25=18,75 \text{ A} \quad (8)$$

Con esto, se selecciona un interruptor termomagnético para tablero de 20A nominales, capacidad de corto circuito de 10kA.

7.6.3 Totalizador

Se debe instalar un breaker trifásico a la salida, como protección general de la planta solar interconectada a la red. La potencia máxima de salida de la planta es de 8800KVA, con lo cual la corriente por fase, asumiendo un comportamiento balanceado del sistema,

corresponde a:

$$I_{AC} = 13,5 \text{ A} * 1,25 \quad (9)$$

$$I_{AC} = 13,5 \text{ A} * 1,25 = 16,9 \text{ A} \quad (10)$$

Con esto, se selecciona un interruptor termomagnético trifásico para tablero de 20A nominales, capacidad de corto circuito de 10kA.

7.6.4 Conexión de cadena de paneles a inversor.

El inversor cuenta con dos entradas MPPT, observando la ficha técnica del inversor (Figura 5) podemos encontrar la corriente máxima de entrada proveniente de los paneles solares y a esta se le aplica un factor de seguridad del 25% exigido por la norma, por lo que la corriente mínima para la protección es la siguiente:

$$I_{AC} = 19,5 \text{ A} * 1,25 \quad (11)$$

$$I_{AC} = 19,5 \text{ A} * 1,25 = 24,4 \text{ A} \quad (12)$$

Con esto, se selecciona un interruptor termomagnético para tablero de 25A nominales, capacidad de corto circuito de 10kA y un fusible de 25A nominales y 1500 VDC.

7.6.5 Conexión de baterías a inversor.

El inversor cuenta con una entrada auxiliar para baterías, observando su ficha técnica (Figura 5) podemos encontrar la corriente máxima de entrada proveniente de las baterías y a esta se le aplica un factor de seguridad del 25% exigido por la norma, por lo que la corriente mínima para la protección es la siguiente:

$$I_{AC} = 16,7 \text{ A} * 1,25 \quad (13)$$

$$I_{AC} = 16,7 \text{ A} * 1,25 = 20,9 \text{ A} \quad (14)$$

Con esto, se selecciona un interruptor termomagnético para tablero de 25A nominales, capacidad de corto circuito de 10kA.

7.7 Cableado DC

7.7.1 De cadena de paneles a Inversor.

La capacidad mínima de corriente (I_{Cmin}) del cable debe ser por lo menos el 25% por encima del valor de la corriente máxima de la cadena de paneles, que es de 13,93 A:

$$I_{Cmin} = 13,93A * 1,25 = 17,4A \quad (15)$$

Aplicando un factor de corrección del 70% (tabla 310-11 NTC 2050), la capacidad mínima del cable debe ser: Analizar detalladamente el consumo actual de energía eléctrica en la empresa de mangos, utilizando como referencia las facturas de energía disponibles, con el objetivo de identificar patrones y áreas de potencial optimización en términos de demanda energética."

$$I_C = \frac{c_{min}}{70\%} \quad (16)$$

$$I_C = \frac{17,4A}{70\%} = 24,9A \quad (17)$$

Por otro lado, se debe tener en cuenta la caída de voltaje máxima que se quiera manejar para la longitud total del cable. Para este caso se establece en 2% y se tiene que la longitud total del cable es de máximo 50m. A partir de la fórmula que se presenta a continuación, se puede hallar la sección mínima (S):

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (18)$$

p: Resistividad en $\Omega \text{ mm}^2/m$ (para el cobre, $\frac{1}{56} \Omega \text{ mm}^2/m$)

L: Longitud del cable (50m)

I: Corriente Máxima (13,93A)

ΔV : Caída de voltaje máxima permitida ($V_{pv} * 2\% = 7,3V$)

$$S = \frac{2 * 1 \Omega \text{ mm}^2 * 50m * 13,93A}{56m * 7,3V} = 3,41 \text{ mm}^2 \quad (19)$$

Con esto, se escoge un cable para aplicación fotovoltaica con sección transversal de 4 mm^2 con temperatura de trabajo de -40° a 90°C y voltaje de operación de 1500V, asegurando así una caída de voltaje menor a 2%. La capacidad de corriente de este cable es de 50A, con lo cual se está por encima del valor mínimo de corriente requerido de 24,9 calculado anteriormente.

7.8 Cableado AC

7.8.1 De Inversor a Tablero de conexión.

El inversor entrega una potencia máxima de 8800 VA a través de tres fases, por lo cual cada fase manejará como máximo 2934 VA. Con esto, y aplicando un factor de seguridad de 25%, se tiene que la corriente que debe soportar como mínimo el cable es:

$$I_{AC} = \frac{2934W}{220V} * 1,25 = 16,9 \text{ A} \quad (20)$$

Por otro lado, se debe tener en cuenta la caída de voltaje máxima que se quiera manejar para la longitud total del cable. Para este caso se establece en 1% y se tiene que la longitud total del cable es de máximo 5m. A partir de la fórmula que se presenta a continuación, se puede hallar la sección mínima (S):

$$S = \frac{2 * p * L * I}{\Delta V} \quad (21)$$

p : Resistividad en $\Omega \text{ mm}^2/m$ (para el cobre, $\frac{1}{56} \Omega \text{ mm}^2/m$)

L : Longitud del cable (5m)

I : Corriente Máxima (16,9A)

ΔV : Caída de voltaje máxima permitida ($V_{ac} * 1\% = 2,2V$)

$$S = \frac{2 * 1 \Omega \text{mm}^2 * 5m * 16,9A}{56m * 2,2V} = 1,37 \text{mm}^2 \quad (22)$$

Con esto, se escoge cable # 14 AWG THHN/THWN-2 90° marca Centelsa, o similar con sección transversal de 2,08 mm², asegurando así una caída de voltaje menor a 1%. La capacidad de corriente de este cable es de 25A, con lo cual se está por encima del valor mínimo de corriente requerido de 16,9 A calculado anteriormente.

8 Evaluación financiera y económica del proyecto

8.1 Financiera

8.1.1 Variables de entrada

Estocásticas

- Precio de la energía (SUI, UPME)
- Horas de radiación solar
- Inflación
- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento

Determinísticas

- Tasa de descuento
- Impuestos

8.1.2 Tiempos de evaluación del proyecto

Tiempo del proyecto a 25 años.

8.1.3 Flujo de caja

8.1.3.1 Ingresos (ahorros)

- Costo total del consumo anual

8.1.3.2 Costos fijos

- Inversión inicial

8.1.3.3 Costos Variables

- Operación y Mantenimiento O&M

8.1.4 CAPEX y OPEX

En la Tabla 2 se describe el análisis de mercado de un sistema solar fotovoltaico instalado en la región de estudio, los datos se obtienen a partir de información de las principales empresas instaladoras de paneles solares, este diagnóstico se utilizó para determinar el CAPEX del proyecto descrito en la Tabla 3.

Los costos del proyecto para un diseño con una potencia a instalar de 8 kW incluyen el costo de diseño y planificación, adquisición de equipos, instalación y trámites de legalización del sistema.

Tabla 2.
Análisis de mercado de un sistema solar fotovoltaico

COSTOS DEL PROYECTO	COSTO \$/kW P
\$ 40.614.652	\$ 5.076.832
\$ 49.658.257	\$ 6.207.282
\$ 59.909.052	\$ 7.488.632
\$ 47.145.852	\$ 5.893.232
\$ 48.832.859	\$ 6.104.107
\$ 44.660.301	\$ 5.582.538
\$ 42.790.822	\$ 5.348.853
\$ 46.020.027	\$ 5.752.503
\$ 38.579.330	\$ 4.822.416
\$ 33.915.896	\$ 4.239.487
\$ 39.069.891	\$ 4.883.736
\$ 47.470.547	\$ 5.933.818
\$ 50.474.854	\$ 6.309.357

Nota: Los datos presentes en esta tabla se obtienen de un estudio de mercado realizado en las principales empresas instaladoras de energía solar del país.

Con la mediana (\$ 46.020.027) de las cotizaciones consultadas en el mercado colombiano (Tabla 2), se obtuvieron los siguientes valores para determinar el CAPEX del proyecto.

Tabla 3
CAPEX

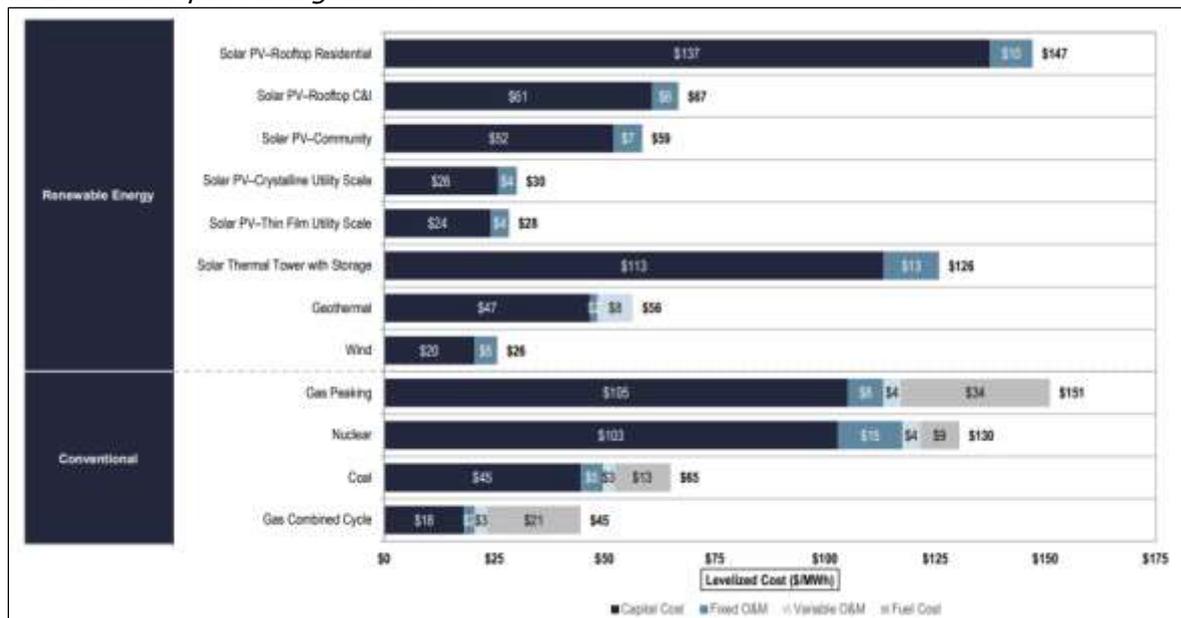
Equipos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad	Total
Paneles solares	500 W	16	\$ 947.000	\$ 15.152.000
Inversor	8000 W	1	\$ 10.953.000	\$ 10.953.000
Estructura	m ²	38,56	\$ 209.667	\$ 8.084.747
Instalación, contador bidireccional, transporte de equipos, protecciones y cableado.	N/A	1	\$ 11.966.411	\$ 11.966.411
Total				\$ 46.156.158

Nota: cotización detallada de los elementos del sistema e instalación.

Para el caso del OPEX los datos se obtienen a partir del informe LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0, donde se define un costo que oscila entre \$10 y \$15 dólares por cada MWh generado (Ver Figuras 7 y 8). Teniendo en cuenta que la generación de la planta a instalar es de 12.6 MWh/año, el costo de OPEX puede variar entre \$126 y \$189 dólares por año.

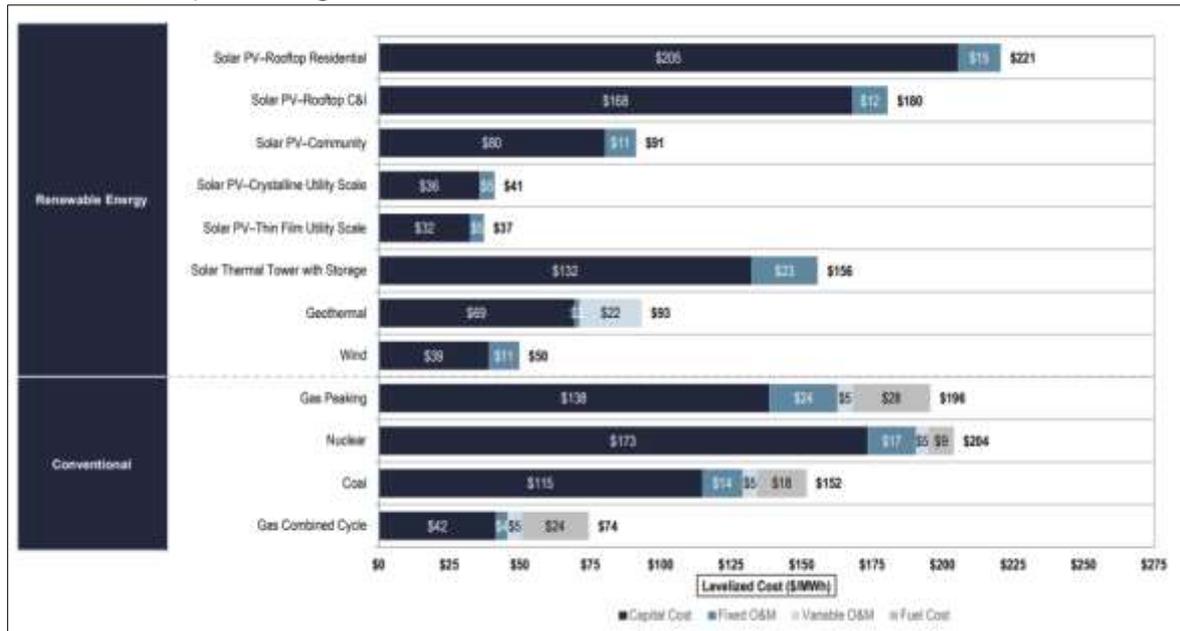
Figura 7.

OPEX mínimo por MWh generado



Nota: Ver Anexo 4. Informe LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0

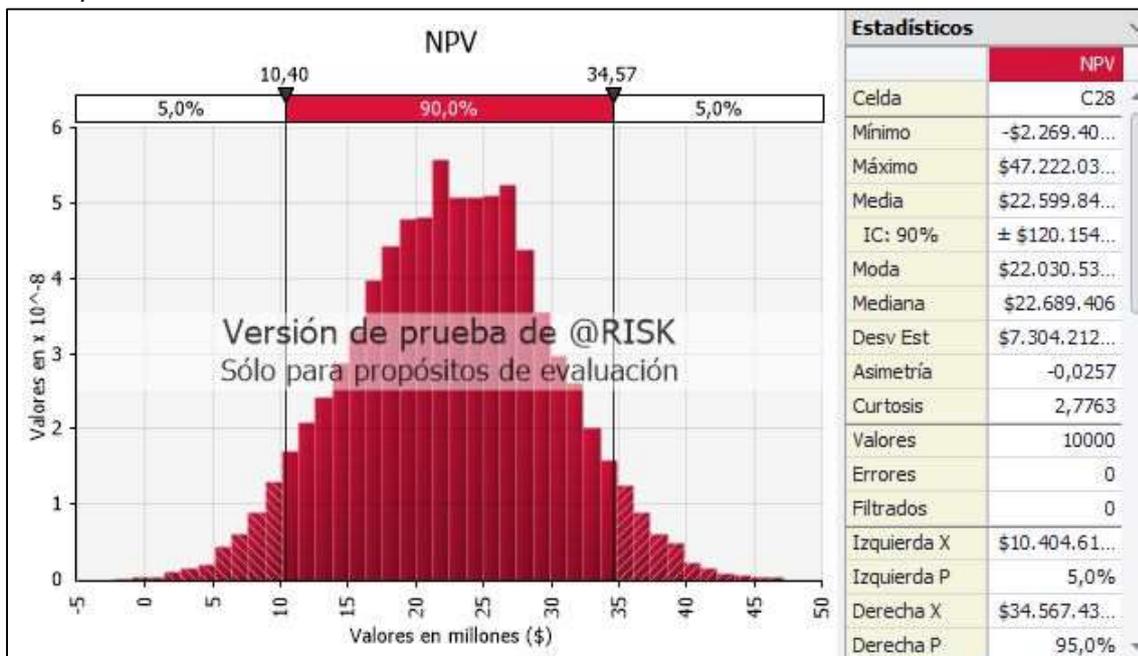
Figura 8.
OPEX máximo por MWh generado



Nota: Ver Anexo 4. Informe LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0

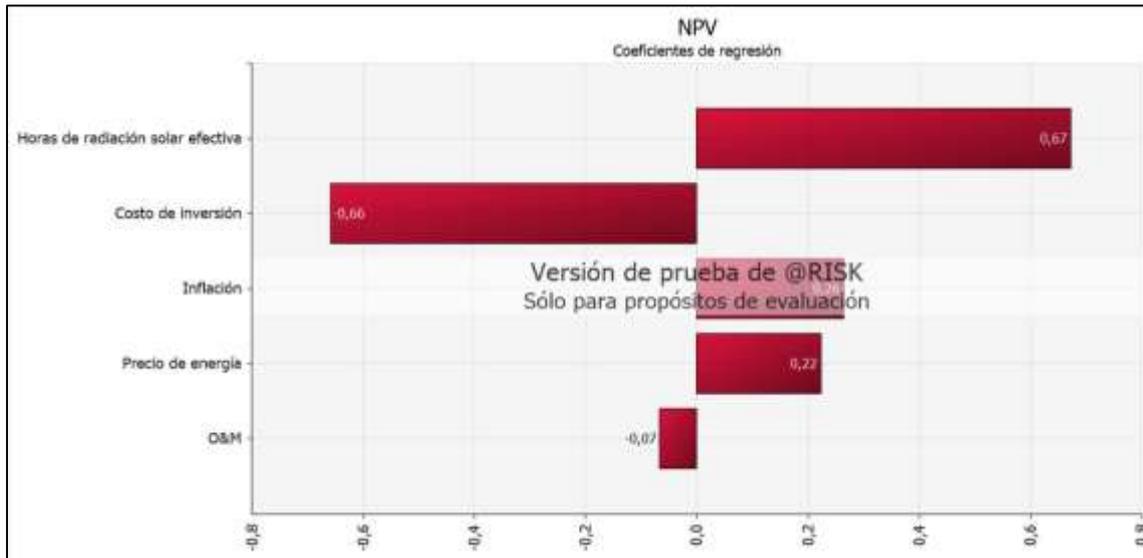
8.1.5 Variables esperadas de salida o resultado

Figura 9
Valor presente neto - NPV



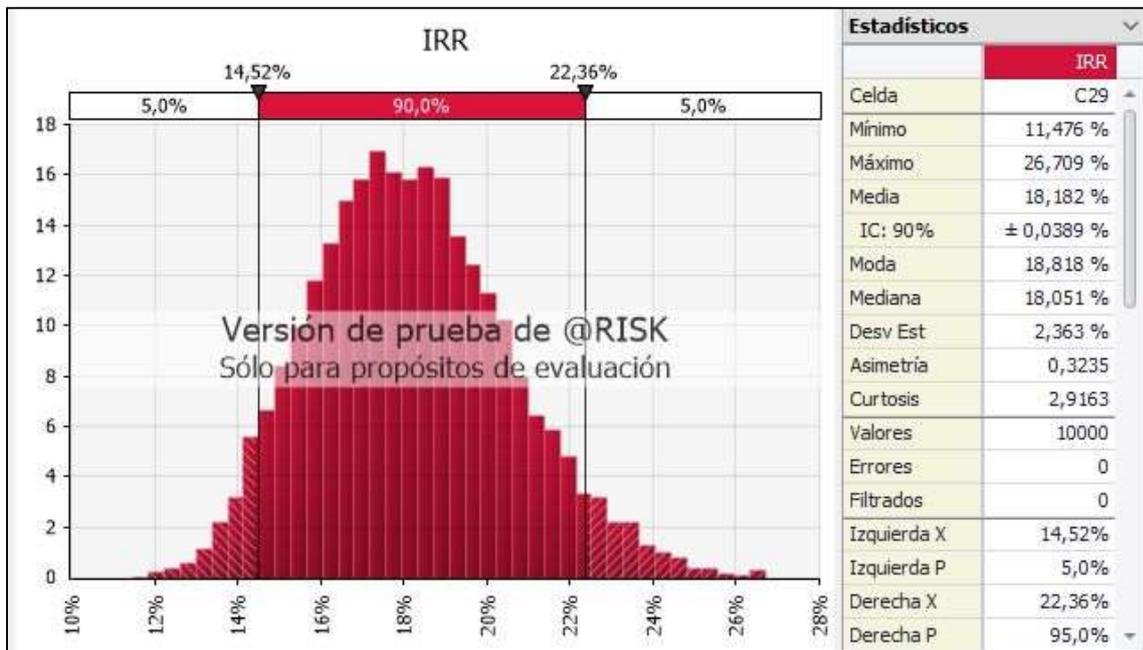
Nota: Fuente Software Risk

Figura 10
Variables que influyen sobre el NPV del proyecto



Nota: Fuente Software Risk

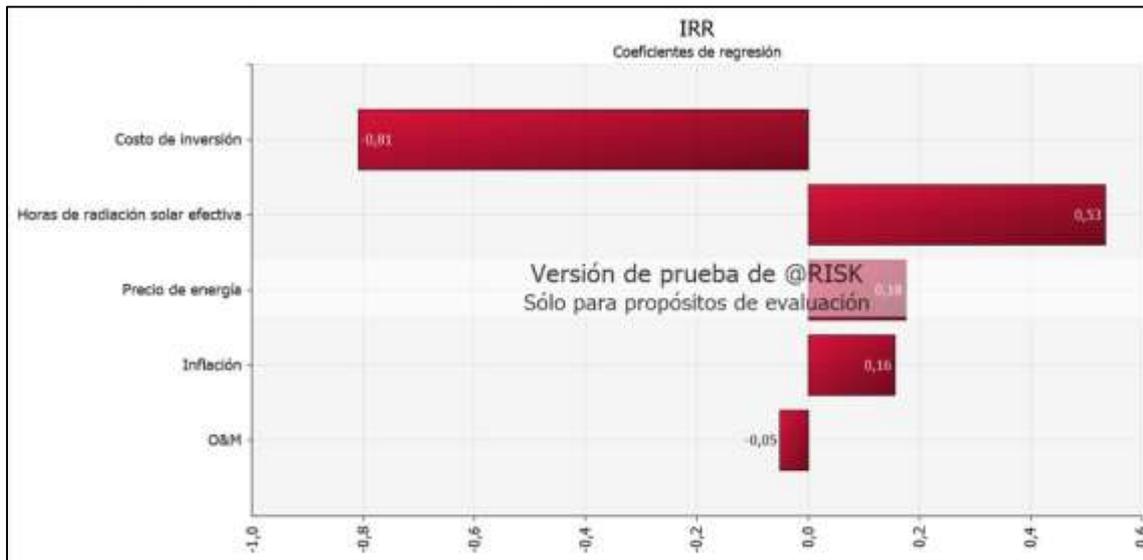
Figura 11
Tasa Interna de Retorno



Nota: Fuente Software Risk

Figura 12

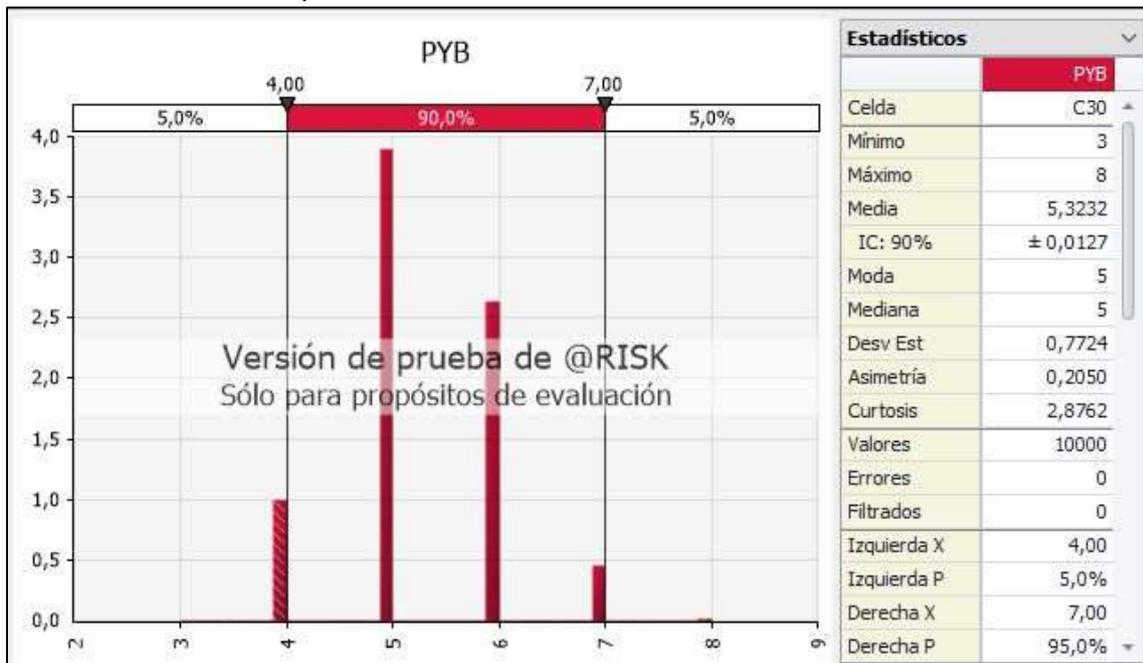
Variables que influyen sobre la IIR del proyecto.



Nota: Fuente Software Risk

Figura 13

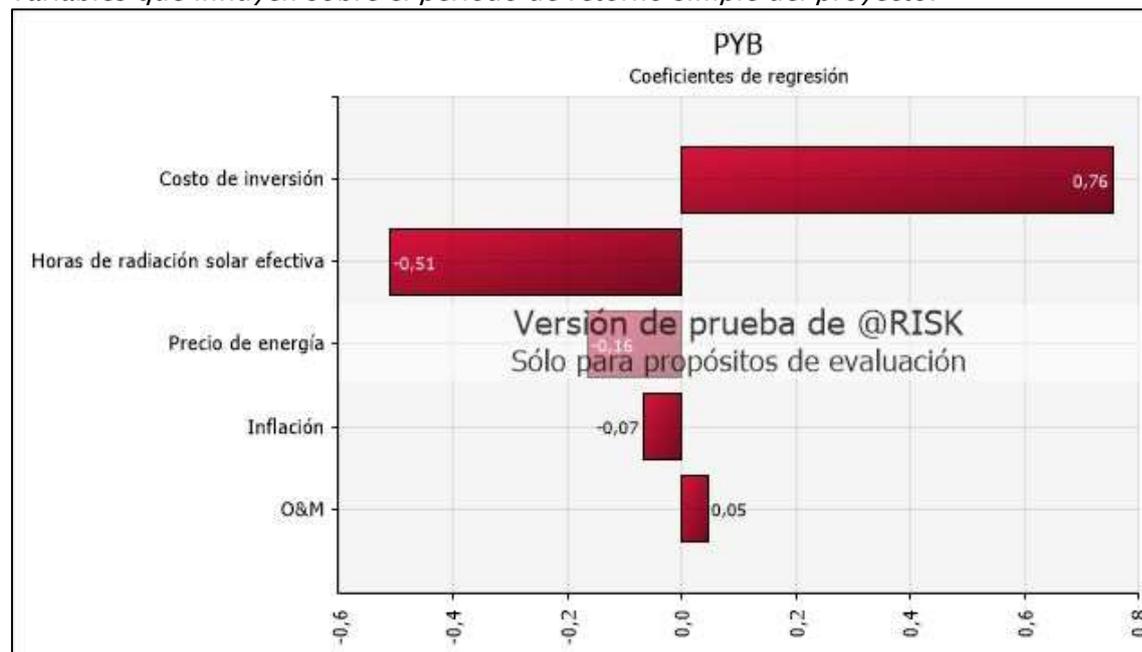
Periodo de retorno simple



Nota: Fuente Software Risk

Figura 14

Variables que influyen sobre el periodo de retorno simple del proyecto.



Nota: Fuente Software Risk

8.1.6 Interpretación y recomendación financiera

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través de la simulación estocástica de los indicadores financieros donde se evidenció que para el valor presente neto se tiene una probabilidad del 90% en obtener valores mayores a cero, lo que indica que el proyecto es considerado viable.

La tasa interna de retorno en el 90% de los casos estuvo entre el 14.52% y 22.36%, aún en el caso más crítico se mantuvo por encima de la tasa de descuento determinada en un 12%, lo que indica que el proyecto ofrece una tasa de rendimiento atractiva para los inversores.

El periodo de retorno de la inversión en el 90% de los casos, da entre 4 y 7 años, donde se presenta que en el año 5 es el periodo más probable para el retorno de la inversión.

En conclusión, el proyecto de acuerdo con los indicadores financieros es viable y representa una alternativa atractiva para los inversionistas. No obstante, es necesario tener en cuenta los patrones de consumo debido a que si estos son muy variables puede afectar la rentabilidad evaluado en este análisis.

8.2 Económica

La parte económica de la empresa productora de mangos en la Hacienda La Arboleda implica diversos aspectos relacionados con los ingresos, los costos y la rentabilidad. Como los siguientes:

8.2.1 Ingresos por ventas

La empresa genera ingresos por la venta de mangos a clientes internacionales. Sin embargo, estos aspectos no están vinculados a las variables identificadas en esta evaluación. Los ingresos por ventas se generan tanto con el proyecto en marcha como sin él, y no dependen del ahorro proyectado mediante la generación fotovoltaica.

8.2.2 Costos de producción

Los costos asociados a la producción de mangos incluyen el costo de la tierra o arrendamiento, los insumos agrícolas (como fertilizantes, pesticidas y semillas), el riego, la mano de obra para el cultivo y la cosecha, y el transporte de los mangos desde el campo hasta las instalaciones de procesamiento. El costo de producción que está directamente asociado al desarrollo de la evaluación corresponde solo al consumo energético en el proceso de riego requerido en las plantaciones.

8.2.3 Costos de procesamiento

Los costos asociados al lavado, clasificación, empaque y almacenamiento de los mangos. Estos costos incluyen la maquinaria, la energía eléctrica, los materiales de empaque y la mano de obra requerida. El costo de procesamiento que está directamente asociado al desarrollo de la evaluación corresponde solo al consumo energético en el proceso de lavado de la fruta.

8.2.4 Logística y transporte

Los costos de transporte y logística, como embalaje especializado, carga, flete marítimo o aéreo, seguros y costos aduaneros. Ya que su actividad se centra en la exportación del producto. Sin embargo, estos aspectos no están vinculados a las variables identificadas en esta evaluación. La logística y transporte se realiza tanto con el proyecto en marcha como sin él, y no consumen energía de la red.

9 Conclusiones

Es positivo destacar que el análisis del consumo actual de energía eléctrica en la empresa de mangos ha proporcionado información valiosa. Se observa una tendencia marcada, donde los primeros meses del año, impulsados por el período de verano, representan los picos de mayor demanda. Este aumento está vinculado al bombeo necesario para el riego de los cultivos, así como al lavado inicial de la fruta, que también se realiza en octubre y noviembre. Contrariamente, el mes de diciembre emerge como el periodo de menor consumo, atribuible al cese de operaciones durante las vacaciones de la empresa. Estos hallazgos permiten identificar patrones estacionales clave y áreas específicas de concentración energética, proporcionando una base sólida para futuras estrategias de optimización y eficiencia energética.

El diseño de una planta solar para la empresa de mangos, tras evaluar la radiación solar en la zona a través de Meteonorm 8.0 y PVSyst, revela un potencial excepcional para proyectos solares en la Hacienda La Arboleda. La zona cuenta con condiciones favorables para la generación de energía solar. Además, al analizar los patrones y consumos energéticos reflejados en las facturas, se ha determinado que la demanda anual de 12.6 MWH puede ser eficientemente satisfecha mediante una planta solar interconectada de 8 kWp.

La simulación estocástica de indicadores financieros fortalece la perspectiva positiva del proyecto. Con una probabilidad del 90% de obtener un Valor Presente Neto positivo y tasas internas de retorno consistentemente atractivas entre el 14.52% y 22.36%, el proyecto se presenta como una inversión sólida. A pesar de la variabilidad, el periodo de retorno de inversión, mayormente entre 4 y 7 años, respalda la atractiva rentabilidad del proyecto, aunque se destaca la importancia de considerar la estabilidad en los patrones de consumo.

En conclusión, el análisis detallado del consumo energético, el diseño eficiente de una planta solar y la evaluación financiera demuestran de manera contundente la viabilidad y beneficios significativos de la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en la empresa de mangos. Estos resultados respaldan el cumplimiento de los objetivos generales de aumentar la eficiencia energética, reducir los costos de la factura de energía y promover una imagen sostenible y amigable con el medio ambiente.

10 Referencias bibliográficas

- Banco de La Republica de Colombia (2023); Informe de Política Monetaria | Enero de 2023
Recuperado de <https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/10591/informe-politica-monetaria-enero-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boxwell, M. (2010). Solar electricity handbook 2010: A simple practical guide to solar energy – designing and installing photovoltaic solar electric systems (3rd ed.; Greenstream Publishing.
- Departamento Nacional de Estadística – DANE. (2015). El cultivo del mango, Mangifera indica, y su comportamiento frente a las condiciones ambientales y de manejo. Boletín mensual: Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_ene_2015.pdf
- Dinçer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713–720. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.026>
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Instituto Colombiano Agropecuario – ICA – (2022); Mango colombiano rumbo a Europa. (s/f). Portal Corporativo ICA. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-mango-colombiano-rumbo-europa>
- International Renewable Energy Agency – IRENA (2022); Costos De Generación De Energía Renovable En 2020, 2021, Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020_Summary_ES.pdf
- Kim, J., Rabelo, M., Padi, S. P., Yousuf, H., Cho, E.-C., & Yi, J. (2021). A review of the degradation of photovoltaic modules for life expectancy. *Energies*, 14(14), 4278. <https://doi.org/10.3390/en14144278>
- Lastre Mancera, M. J., García Coquies, A. M., & Leguía Vargas, E. A. (2022). Análisis de la exportación de mango desde el departamento del Magdalena. Santa Marta: Universidad cooperativa de Colombia.
- Martinez, D., Sarmiento, K., Suarez, M. (2022). Análisis De Exportación De Mango Desde La Región Caribe Colombiana Hacia EE.UU., PRIME Business School Universidad Sergio Arboleda. Recuperado de

<http://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/1867/An%3%a1lisis%20de%20exportaci%3%b3n%20de%20mango%20desde%20la%20Regi%3%b3n%20Caribe%20colombiana%20hacia%20Estados%20Unidos.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2019). Sistema de Información y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. Sector Agrícola. Mango. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Pages/default.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2021). Sistema de Información y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. Cadena del Mango: Indicadores e Instrumentos. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Mordor Intelligence (2023); Análisis Del Tamaño Y La Participación Del Mercado De Energía Solar En Colombia – Tendencias Y Pronósticos De Crecimiento (2023 – 2028). Extraído de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/colombia-solar-energy-market>

Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>

Serrano Guzmán, M. F., Pérez Ruiz, D. D., Galvis Martínez, J. F., Rodríguez Sierra, M. L., & Correa Torres, S. N. (2017). Análisis prospectivo del uso de energía solar: Caso Colombia. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 71, 85–93. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771604>

TvAgro. (2021, julio 10). Asohofrucol: Ayapel busca ser el principal productor de mango Tommy – TvAgro por Juan Gonzalo Angel. Youtube.com. <https://www.youtube.com/watch?v=BZYenhXDoBo&t=372s>

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2022); Plan de Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 – 2022, Recuperado <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Pages/default.aspx>
https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2020); Plan Energético Nacional 2020–2050, Recuperado de https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf

United Nations. (n.d.). Apoyar el desarrollo sostenible y la acción climática | Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.un.org/es/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action>

Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 75, 450–458.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>