



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO
ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21551041

LEONELA MARÍA CASTELLÓN RUIZ

ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; ENERO, 2021

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Yesenia y Víctor, a mi hermana Ana Sofía y a mi abuela Mary Isabel, gracias por su apoyo incondicional y su esfuerzo que no conoce de barreras, gracias por todo el amor y toda la comprensión en este camino tan largo, este logro es para ustedes, los amo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por que sé que sin Él no soy nada, es Él el que me ha traído de la mano hasta este día sin soltarme ni un solo momento. A mi familia por siempre estar a mi lado en los momentos mas tristes y también en los mas felices.

Agradezco a José Paredes por ser mi norte en situaciones adversas, siempre apoyándome y acompañándome con amor y comprensión.

Agradezco al Ing. Héctor Villatoro por el gran esfuerzo y apoyo durante este proyecto, compartiendo sus conocimientos para alimentar los nuestros.

Agradezco al Ing. Franklin Reyes ya que ha sido un catedrático que ha marcado mi experiencia universitaria, siempre al servicio del que necesita ayuda.

Agradezco a mis amigos Max, Carlos, Andrés, Najwa, Adán y Daniel, por apoyarme y compartir conmigo experiencias y grandes aventuras. ¡¡Gracias!!

Agradezco al Ing. Estuardo Valdez, propietario de Finca "El Rosario", por abrirme las puertas de su empresa y poner a disposición información clave para este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

Un sistema de riego puede llegar a reflejar un porcentaje alto en el consumo eléctrico en el sector agrícola debido a las bombas encargadas de llevar el agua hasta las tuberías responsables de la irrigación de las plantas. Una gran alternativa de inversión para bajar costos de factura eléctrica y a la vez ser responsable con el medio ambiente es la energía solar fotovoltaica. Esta investigación tiene como finalidad realizar un análisis técnico y económico de la implementación de un sistema solar fotovoltaico a un sistema de riego que es alimentado por una bomba sumergible de pozo de cinco caballos de fuerza y una bomba centrífuga de cinco caballos de fuerza. Esto con el propósito de disminuir el consumo de energía eléctrica de la red eléctrica nacional. El caso de estudio de esta investigación será una finca de cultivo de tomate ubicada en Amatitlán, Guatemala. En primer lugar, se hizo un análisis del consumo eléctrico promedio anual de la finca, esto mediante un estudio de el patrón de uso del sistema de riego (días irrigados del mes). Seguidamente se hizo un análisis de la radiación incidente en la zona para luego realizar una gráfica comparativa entre días irrigados versus radiación incidente. Al obtener la curva comparativa, se analizaron los meses en los que el sistema suplirá la demanda de energía necesaria para alimentar ambas bombas. A continuación, se hizo un dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico el cual suplirá el 95% de la demanda eléctrica del sistema de bombeo. Basándose en el dimensionamiento realizado, se hizo simulaciones en diferentes softwares (PVsyst y Helioscope) para analizar la generación de energía y visualizar cómo se comportaría el sistema anualmente. Para determinar la factibilidad del proyecto, de las simulaciones se obtuvo la generación anual de energía y a partir de los datos obtenidos se hizo un análisis financiero del sistema para calcular el costo capital total del proyecto, el periodo de retorno de inversión, VAN, TIR y LCOE. Se espera que el proyecto sirva como punto de partida para la implementación del sistema solar fotovoltaico en caso de que Finca El Rosario realice el proyecto.

Palabras Clave: Sistema de Bombeo, Irradiación, Irrigación, Sistema Solar Fotovoltaico.

ABSTRACT

An irrigation system can reflect a high percentage of electricity consumption in the agricultural sector due to the pumps in charge of carrying the water to the pipes responsible for the irrigation of the plants. A great investment alternative to lower electricity bill costs and at the same time be responsible for the environment is photovoltaic solar energy. The purpose of this research is to carry out a technical and economic analysis of the implementation of a photovoltaic solar system to an irrigation system that is powered by a five-horsepower submersible well pump and a five-horsepower centrifugal pump. This with the purpose of reducing the consumption of electrical energy from the national electrical network. The case study of this research will be a tomato farm located in Amatitlán, Guatemala. In the first place, an analysis of the farm's annual average electricity consumption was made, through a study of the pattern of use of the irrigation system (irrigated days of the month). Next, an analysis of the incident radiation in the area was made and then a comparative graph between irrigated days versus incident radiation was made. When obtaining the comparative curve, the months in which the system will supply the energy demand necessary to power both pumps were analyzed. Next, a sizing of the photovoltaic solar system was carried out, which will supply 95% of the electrical demand of the pumping system. Based on the dimensioning carried out, simulations were carried out in different software (PVsyst and Helioscope) to analyze power generation and visualize how the system would behave annually. To determine the feasibility of the project, from the simulations the annual generation of energy was obtained and from the data obtained a financial analysis of the system was made to calculate the total capital cost of the project, the return on investment period, NPV, IRR and LCOE. The project is expected to serve as a starting point for the implementation of the solar photovoltaic system should Finca El Rosario carry out the project.

Key Words: Pumping System, Irradiation, Irrigation, Photovoltaic Solar System.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	3
2.1.	Precedentes del Problema.....	3
2.2.	Definición del Problema.....	4
2.3.	Justificación.....	4
2.4.	Preguntas de Investigación.....	4
2.5.	Objetivos.....	5
2.5.1.	Objetivo General.....	5
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	5
III.	Marco Teórico.....	6
3.1.	Riego Agrícola.....	6
3.1.1.	Tipos de Riego Agrícola.....	6
3.2.	Humedad del Suelo.....	9
3.2.1.	Medición de la Humedad del Suelo.....	10
3.2.2.	Evapotranspiración.....	11
3.2.3.	Factores que afectan la Evapotranspiración.....	11
3.3.	Sistema de Bombeo.....	12
3.3.1.	Bomba Centrífuga.....	12
3.3.2.	Bomba sumergible.....	13
3.4.	Energía Solar.....	13
3.4.1.	Radiación Solar.....	14

3.4.2.	Módulo Fotovoltaico	15
3.4.3.	Batería.....	15
3.4.4.	Regulador de Carga	15
3.4.5.	Inversor	16
3.4.6.	Coste Actual Neto (NPC).....	16
3.4.7.	Performance Ratio (PR).....	16
3.5.	Cultivo de Tomate	17
3.5.1.	Requerimientos Edafoclimáticos.....	18
3.5.2.	Temperatura.....	18
3.5.3.	Humedad.....	18
3.5.4.	Suelo	18
3.5.5.	Principales tipos de tomate comercializados.....	18
3.5.6.	Etapas Fenológicas del Cultivo de Tomate	21
3.5.7.	Establecimiento de la Planta Joven.....	21
3.5.8.	Crecimiento Vegetativo	21
3.5.9.	Floración e Inicio de Cuaje de la Fruta.....	21
3.5.10.	Inicio de Desarrollo de la Fruta.....	21
3.5.11.	Maduración de la Fruta.....	21
3.6.	Situación Actual	22
3.6.1.	Sistema de Bombeo FV en Villena, España.....	22
3.6.2.	Sistema de Riego Fotovoltaico en Alter Do Chão, Brasil.....	23
3.7.	Aspectos Financieros	24
3.7.1.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	24

3.7.2.	Valor Actual Neto (VAN)	25
IV.	Metodología.....	26
4.1.	Enfoque.....	26
4.2.	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	27
4.2.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES	27
4.2.2.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	27
4.3.	HIPÓTESIS.....	27
4.3.1.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN (H_i)	27
4.3.2.	HIPÓTESIS NULA (H_0)	28
4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	28
4.4.2.	Instrumentos.....	29
4.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	30
4.6.	Metodología de estudio.....	31
4.7.	Cronograma de actividades	33
V.	Resultados y Análisis De Datos.....	34
5.1.	Análisis De la Demanda	34
5.2.	Análisis Técnico.....	35
5.2.1.	Estudio de Precipitación.....	35
5.2.2.	Volumen de Agua Irrigada	36
5.2.3.	Radiación Incidente.....	36
5.2.4.	Radiación Incidente versus Volumen de Agua Irrigada	37
5.2.5.	Diseño del Sistema Solar Fotovoltaico	38
5.2.6.	Simulación Helioscope.....	38

5.2.7.	Simulación PVsyst.....	40
5.2.8.	Diagramas De El sistema.....	41
5.2.9.	Análisis Financiero	42
5.3.	Limitaciones.....	43
VI.	Conclusiones.....	44
VII.	Recomendaciones.....	45
VIII.	Evolución de trabajo actual.....	46
IX.	Bibliografía.....	47
X.	Anexos.....	51
10.1.	Radiación Incidente.....	51
10.2.	Volumen de Agua	57
10.3.	Volumen de Agua versus Radiación Incidente.....	63
10.4.	Simulación Helioscope.....	70
10.5.	Simulación PVsyst.....	72
10.6.	Emisiones CO ₂	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1- Riego por Gravedad</i>	7
<i>Ilustración 2-Riego por Aspersión</i>	8
<i>Ilustración 3 -Riego por Goteo</i>	9
Ilustración 4 - Bomba Centrífuga.....	12
Ilustración 5 - Bomba Sumergible para pozo	13
<i>Ilustración 6 - Espectro Electromagnético de la radiación solar</i>	14
<i>Ilustración 7 - Esquema de Instalación del Sistema Fotovoltaico</i>	16
Ilustración 8 - Tomate Beef	19
Ilustración 9 - Tomate Moneymaker	19
Ilustración 10 - Tomate Cereza (Cherry).....	20
Ilustración 11 - Tomate Saladette.....	20
<i>Ilustración 12 - Volumen Diario Bombeado vs Radiación Incidente Proyecto FV San Cristóbal en Villena, España</i>	23
Ilustración 13 - Esquema Metodológico del Proyecto	26
Ilustración 14 - Potencial Eléctrico Fotovoltaico, Guatemala.....	30
Ilustración 15 - Mapa Guatemala.....	31
Ilustración 16 - Metodología de Estudio	32
Ilustración 17 - Cronograma de Actividades.....	33
Ilustración 18 - Radiación enero 2020	Error! Bookmark not defined.
Ilustración 19 - Radiación febrero	Error! Bookmark not defined.
Ilustración 20 - Radiación marzo	Error! Bookmark not defined.
Ilustración 21 - Radiación abril	Error! Bookmark not defined.

Ilustración 22 - Radiación mayo.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 23 - Radiación junio.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 24 - Radiación julio**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 25 - Radiación agosto**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 26 - Radiación septiembre**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 27 - Radiación octubre**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 28 - Radiación noviembre**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 29 - Radiación diciembre.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 30 - Volumen de Agua enero.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 31 - Volumen de Agua febrero.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 32 - Volumen de agua marzo**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 33 - Volumen de Agua abril.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 34 - Volumen de Agua mayo**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 35 - Volumen de Agua junio**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 36 - Volumen de Agua julio.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 37 - Volumen de Agua agosto**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 38 - Volumen de Agua septiembre.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 39 - Volumen de Agua octubre.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 40 - Volumen de Agua noviembre.....**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 41 - Volumen de Agua diciembre**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 42 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, enero**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 43 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, febrero**Error! Bookmark not defined.**

Ilustración 44 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, marzo **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 45 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, abril **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 46 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, mayo **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 47 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, junio **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 48 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, julio **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 49 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, agosto **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 50 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, septiembre **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 51 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, octubre **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 52 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, noviembre **Error!** **Bookmark not defined.**

Ilustración 53 - Volumen de Agua versus Radiación Incidente, diciembre **Error!** **Bookmark not defined.**

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1- Ventajas y Desventajas del Riego por Gravedad</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2 - Ventajas y Desventajas del riego por Aspersión</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 3 - Ventajas y Desventajas de Riego por Goteo.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 4 - Producción Mundial de Tomate en 2018</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 5 - Consumo de Diésel con sistema PV</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 6 - Consumo de Diésel sin sistema PV.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7 - Ahorro en consumo de Diésel</i>	<i>24</i>

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

VAN – Valor Actual Neto

TIR – Tasa Interna de Retorno

ROI – Retorno sobre la inversión

STC – Standard Test Conditions

HP – Horsepower o caballos de fuerza

Ha - hectáreas

kWh - Kilowatt hora, unidad de energía.

MPPT - Maximum power point tracker o rastreador de punto máximo de potencia.

Voc - Voltaje de circuito abierto, es la diferencia de potencial eléctrico entre dos terminales de un dispositivo cuando lo desconectamos de un circuito eléctrico.

Isc - Corriente de corto circuito, es la corriente calculada que pasaría por un cable de baja impedancia conectado directamente entre los terminales positivo y negativo de un generador.

I. INTRODUCCIÓN

La industria agrícola requiere de un suministro constante de agua para mantener la humedad de la tierra necesaria para el crecimiento de un cultivo; si los propietarios de los cultivos cuentan con un sistema de bombeo para la irrigación, entonces también requieren de un suministro de electricidad estable. Debido al incremento constante de la tarifa de la energía eléctrica, actualmente los agricultores acuden al implemento de la energía renovable para aminorar costos y a la vez contar con un sistema que cumpla con su demanda eléctrica siempre y cuando el recurso primario esté disponible.

La energía solar fotovoltaica es una alternativa para reemplazar o bajar el consumo de la red eléctrica, esto depende de la radiación incidente sobre el plano que se está evaluando, el tamaño del proyecto y los instrumentos utilizados.

Actualmente ya existen proyectos internacionales de sistemas de riego fotovoltaico, países como España, Portugal, Italia y Marruecos, ya cuentan demostradores a escala real en instalaciones de los regantes y condiciones reales de operación.

La empresa Maslowaten realiza este tipo de proyectos en Europa, en Villena, España realizó un proyecto que consiste en un bombeo fotovoltaico directo contra balsa sin hibridación. La potencia fotovoltaica es de 360 kW y la potencia de la bomba es de 250 kW con un volumen de agua anual de 633,215 m^3 . El proyecto tiene una amortización de 6 a 9 años analizando el costo de la energía eléctrica en Villena. (A. González, 2017)

En Alter Do Chão, Brasil se instaló un proyecto híbrido en una plantación de 200 hectárea de surco de olivos que ya tenía un sistema de riego gota a gota a presión constante instalado. En este proyecto se instalaron 140 kWp PV como sustitución parcial de diésel. Con la implementación del sistema solar fotovoltaico, la empresa obtuvo un ahorro del 80%. (Hogan & Fialho, 2016)

En esta investigación se realiza un análisis de factibilidad de implementación de un sistema solar fotovoltaico para un sistema de bombeo conformado por una bomba sumergible de pozo de cinco caballos de fuerza y una bomba centrífuga de cinco caballos de fuerza para una

plantación de tomate con una extensión de siete hectáreas en Finca "El Rosario" ubicada en Amatitlán, Guatemala.

En primer lugar, se hará un análisis de radiación incidente y precipitación en el área donde está ubicada la finca en Amatitlán. Al obtener los datos de radiación y precipitación, se estudiará el consumo de agua para analizar si el proyecto puede ser implementado.

En el proyecto también se pretende realizar simulaciones en PVsyst y Helioscope, esto para ver el comportamiento del mismo durante un tiempo prolongado. A partir de los datos obtenidos se hará un análisis financiero para calcular VAN, TIR, LCOE y periodo de retorno de la inversión, de esta manera se evaluará si el proyecto es económica y técnicamente factible.

Esta investigación está conformada por cuatro secciones principales. En la primera sección que corresponde al planteamiento del problema, se planteará el problema y se definirán los objetivos y las preguntas de investigación que serán contestadas a lo largo del documento. La segunda sección corresponde al marco teórico donde se definirá la literatura que envuelve al tema de bombeo de agua para el cultivo de tomate, alimentado por energía solar fotovoltaica. En la tercera parte se definirá la metodología a utilizar para responder las preguntas de investigación formuladas en la sección uno y en la cuarta sección se encuentra el análisis y resultados. La última sección corresponde a conclusiones y recomendaciones de la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se expondrá el problema de investigación que se quiere resolver. Se demostrarán cuáles son los precedentes de dicho problema y las razones por las cuales habría que resolverlo. Asimismo, se presentarán las preguntas de investigación y los objetivos.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El sector agrícola es un pilar fundamental en la economía de los países latinoamericanos. Al hacer un análisis en el comportamiento y estructura de la población, "en América Latina la población crece a un ritmo de seis millones de personas por año." (CEPAL, 2019)

El aumento de la población repercute directamente en la necesidad del ser humano de satisfacer sus necesidades básicas. Un ejemplo claro e indispensable es la alimentación, una persona debe ingerir en promedio 400 gramos de verdura al día. (Roselló, 2011) Frente a la demanda de alimento, es necesario incrementar la producción del mismo y el sector agrícola utiliza el 70% del agua que se extrae en el mundo; "más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el 20% del total de la superficie cultivada y aporta el 40% de la producción total de alimentos en todo el mundo."(Banco Mundial, 2019)

Para implementar un sistema de riego en una plantación, es necesario evaluar la demanda de agua del cultivo para de esta manera entregar el agua necesaria a través del riego y así cubrir las condiciones de humedad del cultivo en todas sus fases de desarrollo. El agua suministrada a través del riego va a estar disponible de 24 a 48 horas después de haber realizado el riego y cuando ocurre este cambio se dice que el suelo va a estar en condiciones de capacidad de campo si el riego efectuado es la humedad que el cultivo necesita. (Ministerio de Agricultura Coquimbo, 2000)

Por lo tanto, para que un cultivo se desarrolle en condiciones óptimas, es necesario realizar un estudio previo de la humedad del suelo y condiciones climáticas en la ubicación donde este se desarrolla. De manera que, si dichos estudios no son realizados, el suelo puede llegar un punto

de marchitez permanente cuando este se encuentre muy seco y a un estado de saturación si la humedad sobrepasa las condiciones adecuadas que el cultivo necesita.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que actualmente ya hay estudios que demuestran la importancia del riego en los cultivos para mantener la calidad del suelo, es necesario implementar sistemas de riego para que estos mantengan una presión de agua constante y encender las regaderas cada determinado tiempo cumpliendo con las necesidades de cada cultivo. A la vez, el sistema de riego puede ser alimentado por energía solar fotovoltaica para accionar la bomba hidráulica y de esta manera reducir el costo de la energía eléctrica que generaría consumir la energía de la red eléctrica.

2.3. JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental y la escasez de agua son temas actuales y reales los cuales han venido amentando con el crecimiento poblacional.

El proyecto pretende realizar una comparación técnica, ambiental y económica de lo que representa alimentar el sistema de riego de la red eléctrica frente a un sistema solar fotovoltaico. A su vez, la investigación da a conocer la variante en el consumo energético que se reflejaría después de implementar el sistema de riego. Implementar proyectos ambientalmente responsables nos lleva hacia un futuro dirigido a un desarrollo sustentable.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es la demanda de agua para el cultivo de tomates [m^3 /hectárea]?
2. ¿Cuál es la demanda de energía eléctrica necesaria para suplir el riego para el cultivo de tomate?
3. ¿Puede un sistema solar fotovoltaico suplir la demanda energética necesaria para el bombeo de agua demandada por el cultivo de tomate?
4. ¿Puede la curva de irradiancia sobre la zona de Amatitlán acercarse a la curva de volumen diario bombeado en la plantación de tomate?

5. ¿Cuál es el periodo de retorno de la inversión del proyecto?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad técnica y económica de un sistema de riego alimentado por módulos solares fotovoltaicos en la zona de Amatitlán, Guatemala.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la demanda de agua requerida para el cultivo de tomates [m^3 /hectárea].
2. Determinar la demanda de energía eléctrica necesaria para suplir el riego para el cultivo de tomates.
3. Diseñar un sistema fotovoltaico para suplir la energía eléctrica necesaria para el bombeo del agua demandada por el cultivo de tomates en una extensión territorial de 6 hectáreas.
4. Realizar un análisis de la curva de volumen diario bombeado [m^3] en la plantación versus la irradiancia incidente sobre la zona de Amatitlán.
5. Realizar un análisis financiero para calcular el periodo de retorno de la inversión del proyecto.

III. MARCO TEÓRICO

Una vez planteado el problema de estudio y cuando además se ha evaluado su relevancia y factibilidad, el siguiente paso consiste en sustentar teóricamente el estudio. Por esta razón en este capítulo se exponen y analizan las teorías, las conceptualizaciones, las perspectivas teóricas, las investigaciones y los antecedentes en general, que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio.

3.1. RIEGO AGRÍCOLA

El riego permite la distribución eficiente del agua sobre la superficie del suelo en lugares en los cuales la precipitación no ha cubierto. Al hacer un uso adecuado del recurso hídrico mediante el riego es posible la aplicación de fertilizantes y nutrientes de forma segura.

Para que exista un desarrollo en la economía de un país debe haber una producción del sector agrícola que se ajuste a sus necesidades alimenticias y además tener un excedente el cual sea exportado a otros países de manera que éste sirva de base para un desarrollo industrial. Al incrementar las áreas irrigadas, se eleva la producción agrícola que a su vez genera un mayor volumen para la alimentación humana. Es así que el riego sirve de base para modernizar la agricultura e impactar en el incremento del empleo y alimento. (Sandoval, s/f)

3.1.1. TIPOS DE RIEGO AGRÍCOLA

Existen tres tipos de riego:

a) *Riego por Gravedad*

El riego por gravedad es la técnica de riego más antigua y más usada, esta abarca cerca del 95% de la irrigación mundial. El riego por gravedad consiste en derivar el agua de una fuente de agua superficial mediante una obra de captación y esta es conducida por medio de canales que llegan a parcelas individuales. Al llegar a las parcelas, el agua es escurrida hacia abajo por gravedad y de esta manera llega humedece el suelo. (Díaz Ortiz, 2006)

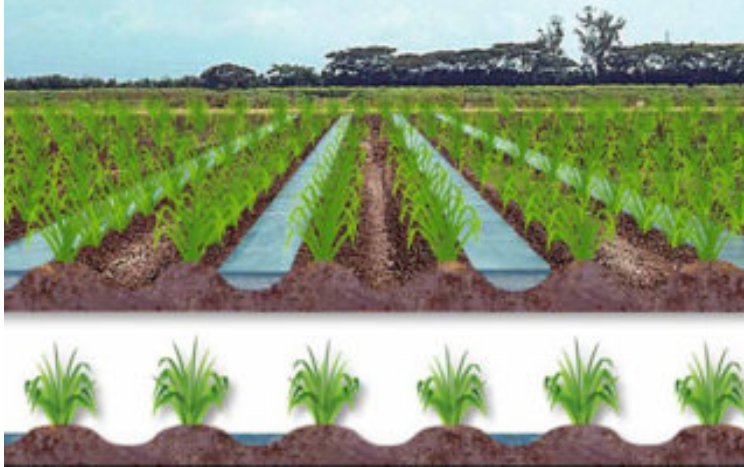


Ilustración 1- Riego por Gravedad

Fuente: (Cenicaña, 2015)

Tabla 1- Ventajas y Desventajas del Riego por Gravedad

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - El sistema es simple en su infraestructura por lo cual es de los más económicos. - No requiere energía eléctrica para su funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desigualdades en la distribución del agua hacen que el sistema sea impreciso. - El exceso de agua descargada puede ocasionar salinización del suelo. - Se requiere más agua por unidad de superficie.

Fuente: Elaboración Propia con información de (Díaz Ortiz, 2006)

b) Riego por Aspersión

El riego por aspersión es una técnica de riego en la cual, por medio de aparatos de aspersión alimentados por agua a presión, el agua es aplicada en forma de lluvia sobre la plantación. La instalación consta de un equipo de elevación encargado de proporcionar el agua a

presión mediante una bomba hidráulica y una red de tuberías que llevan el agua hasta los hidrantes y otra red que es encargada de llevar el agua a las parcelas a regar. (Fuentes, 2003)

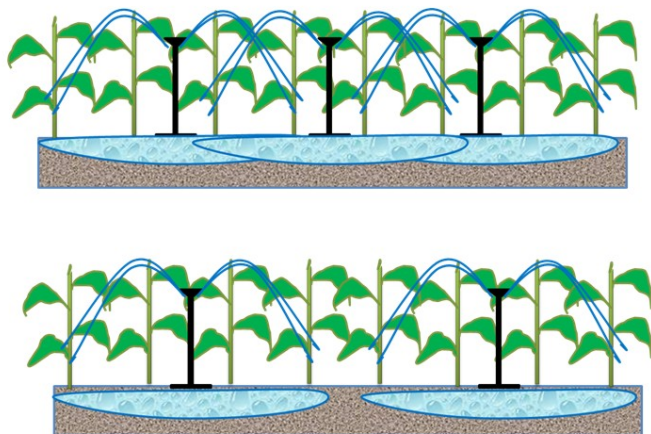


Ilustración 2-Riego por Aspersion

Fuente: (Geroca, 2000)

Tabla 2 - Ventajas y Desventajas del riego por Aspersion

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Permite el uso eficiente del agua. - Se puede implementar en gran variedad del suelo. - Existe una mayor posibilidad de mecanizar los cultivos. - Tiene una eficiencia del 80% en el riego de superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de instalación elevado. - El reparto del agua se ve afectado por el viento. - No se pueden utilizar aguas salinas sobre el follaje de las plantas sensibles a la sal.

Fuente: Elaboración propia con información de (Fuentes, 2003)

c) Riego por Goteo

Esta técnica consiste en llevar el agua a el campo por medio de tuberías pequeñas que se colocan a lo largo de los cultivos para entregarla de forma lenta por medio de goteros." En ocasiones se provee de reguladores de presión y de manómetros en el origen de las líneas auxiliares para facilitar la inspección." Este tipo de riego está constituido por una bomba centrífuga

y su tamaño estará determinado por la carga de agua necesaria para regar la totalidad del terreno.
(Medina, 1985)



Ilustración 3 -Riego por Goteo

Fuente: (Agriculturers, 2015)

Tabla 3 - Ventajas y Desventajas de Riego por Goteo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Permite aplicación de fertilizantes en el agua de riego.- El sistema se adapta a terrenos rocosos o con pendientes.- Permite que las raíces crezcan de manera adecuada.	<ul style="list-style-type: none">- Las tuberías pueden obstruirse si el agua no es filtrada correctamente.- Costo de inversión elevado.

Fuente: Elaboración propia con información de (Medina, 1985)

3.2. HUMEDAD DEL SUELO

Humedad del suelo se denomina a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. El momento de riego depende directamente de la humedad del suelo y esta se puede estimar de acuerdo al aspecto del terreno. Debe existir un balance adecuado de la cantidad de agua en el terreno para obtener un buen rendimiento de los cultivos; el exceso de agua reduce el crecimiento al arrastrar los nitratos a una profundidad superior al alcance de las raíces de los cultivos. La escasez de agua ocasiona sequía en el suelo y marchita la planta. (InfoAgro, 2020)

3.2.1. MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Los métodos utilizados para determinar la humedad del suelo son los siguientes:

a) Método Gravimétrico

El método gravimétrico es el único método cuya medición de la humedad del suelo es directa. Esta medición consiste en recolectar una muestra del suelo para luego pesarla y desecarla (a una temperatura constante de 105°C) para calcular su contenido de humedad. El método gravimétrico es el más exacto para medir el contenido de humedad del suelo y es por esta razón que es utilizado para calibrar los instrumentos de medición que se utilizan en los demás métodos. (Portalfruticola, 2018)

b) Método de Resistencia Eléctrica

En este método se utiliza la resistencia eléctrica de un bloque de material poroso fijado con electrodos en equilibrio higrométrico con el suelo. Cuando el bloque se encuentra en equilibrio higrométrico con el suelo, se registran variaciones del contenido de humedad las cuales causan una variación en la resistencia eléctrica y esta variación es la que se refleja en el instrumento de medición instalado en la superficie. (Portalfruticola, 2018)

c) Método Neutrónico

El método neutrónico indica la cantidad de agua por unidad de volumen de suelo. "Este método se basa en el principio de medición de la disminución de la velocidad de los neutrones emitidos al suelo por una fuente de neutrones rápidos. La pérdida de energía, debida a las colisiones de neutrones con átomos de bajo peso atómico, es muy elevada, siendo proporcional al número de dichos átomos presentes en el terreno." (Portalfruticola, 2018)

d) Método Capacitancia

El sensor de capacitancia está compuesto por electrodos enterrados en el suelo, un oscilador electrónico, un frecuencímetro y cables conectores. "Los electrodos y el suelo adyacente forman un condensador cuya capacidad es función de la constante dieléctrica del suelo y de esta manera, del contenido de humedad del suelo." (InfoAgro, 2020)

e) Método Tensiométrico

El método tensiométrico consiste en un cono de cerámica conectado por medio de un tubo a un manómetro. El instrumento se llena de agua que, al penetrar el cono, establece un equilibrio con la humedad del terreno adyacente. (InfoAgro, 2020)

3.2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados, un proceso es la evaporación en el cual el agua se pierde a través de la superficie del suelo y el otro proceso es mediante la transpiración del cultivo. La evapotranspiración se expresa generalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. (FAO, 2014)

3.2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Existen diversos factores que afectan la evaporación y transpiración entre ellas están el clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo. (FAO, 2014)

a) Variables Climáticas

Entre las variables climáticas que más afectan la evapotranspiración están:

- Radiación Solar
- Temperatura del aire
- Humedad atmosférica
- Velocidad del viento

b) Factores de Cultivo

Los factores de cultivo que deben ser considerados al evaluar la evapotranspiración son:

- Tipo de cultivo
- La variedad
- Etapa de desarrollo

c) Manejo y Condiciones Ambientales

Los factores que limitan el desarrollo del cultivo y evitan la evapotranspiración son:

- Salinidad
- Uso limitado de fertilizantes
- Presencia de horizontes duros
- Mal manejo del suelo

3.3. SISTEMA DE BOMBEO

Una bomba hidráulica es un aparato que imprime la energía que genera mediante un motor en un fluido incompresible, para realizar movimientos de su masa. La energía que se transfiere desde la bomba al fluido provoca un aumento en la presión y la velocidad del mismo, permitiendo su irrigación hacia el área que lo requiera. (Sondagua, 2018)

3.3.1. BOMBA CENTRÍFUGA

Es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de el rodete en energía cinética y potencial. "El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tubuladuras de salida o hacia el siguiente rodete (siguiente etapa)." (EcuRed, 2020)



Ilustración 4 - Bomba Centrífuga

Fuente: (Evans, 2020)

3.3.2. BOMBA SUMERGIBLE

Una bomba sumergible tiene como objetivo principal el transporte de fluido. Esta se sumerge en el líquido y contienen un impulsor sellado a su carcasa, el cual permite bombear el líquido en el que se encuentran sumergidas. Son utilizadas en su mayoría en extracción de agua de pozos, piscinas y estanques. (BM, 2016)



Ilustración 5 - Bomba Sumergible para pozo

Fuente: (Gran Eleccion, 2020)

3.4. ENERGÍA SOLAR

Es la energía que proviene del sol y esta dividida en dos; La energía en forma de calor que es la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica que es utilizada para producir electricidad. (EnDev/GIZ, 2013)

Usos de la Energía Solar Fotovoltaica:

- Generación de energía fotovoltaica.
- Bombeo de Agua
- Repetidores de Telecomunicaciones
- Iluminación Publica

3.4.1. RADIACIÓN SOLAR

Energía emitida por el sol que es propagada en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. La radiación es emitida sobre un espectro de longitud de ondas. A menor longitud de onda, mayor contenido energético. La irradiancia es una medida de la potencia solar incidente por unidad de superficie, que cuantifica la intensidad de la radiación y se mide en W/m^2 . La irradiación es la energía solar que recibe una unidad de superficie en un tiempo determinado (IDEAM, 2014)

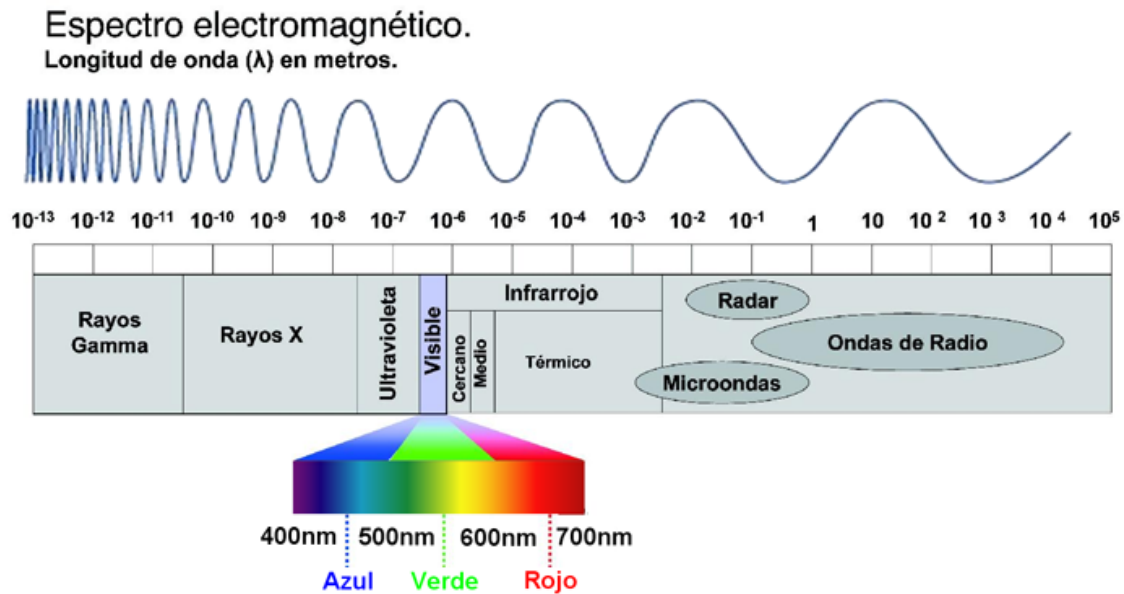


Ilustración 6 - Espectro Electromagnético de la radiación solar

Fuente: (IDEAM, 2014)

3.4.2. MÓDULO FOTOVOLTAICO

Es el instrumento que permite transformar la energía solar en energía eléctrica. Esta formado por varias celdas fotovoltaicas que están hechas de semiconductores que recibieron un tratamiento especial para poder crear el efecto fotovoltaico. (EnDev/GIZ, 2013)

Una celda solar típica con superficie de 100 m^2 produce aproximadamente 1.5 W , con una tensión de 0.5 V y una corriente de 3 A . "La mayoría de los módulos fotovoltaicos tienen entre 36 y 96 células conectadas en serie, pero en algunos casos pueden incluir la conexión en paralelo de grupos de células conectadas en serie. Al conjunto de células solares agrupadas en las condiciones anteriores se le denomina módulo fotovoltaico." (Deras, 2020)

3.4.3. BATERÍA

Componente que es el encargado de almacenar la energía eléctrica que recibe del panel fotovoltaico para luego proporcionar la energía cuando esta sea solicitada. (EnDev/GIZ, 2013)

Las baterías realizan tres funciones:

- Almacenan la energía eléctrica
- Proporcionan energía eléctrica
- Distribuyen la energía eléctrica de una forma estable y adecuada

3.4.4. REGULADOR DE CARGA

Este instrumento conecta o desconecta el panel solar de la batería dependiendo si esta tiene o no suficiente carga. Además, deja el panel fotovoltaico en circuito abierto cuando debe desconectarlo. (EnDev/GIZ, 2013)

Funciones de los Reguladores:

- Limitar la carga de la batería
- Tener protecciones contra, polaridad inversa, corto circuito y diodo de bloqueo.
- Indicadores.
- Controlar la descarga de la batería.

3.4.5. INVERSOR

Permite reducir el voltaje del sistema fotovoltaico para ser utilizado para conectar aparatos que funcionan con voltajes menores. (EnDev/GIZ, 2013)

Tipos de Inversores:

- Onda Cuadrada
- Onda Cuadrada Modificada
- Onda Sinusoidal

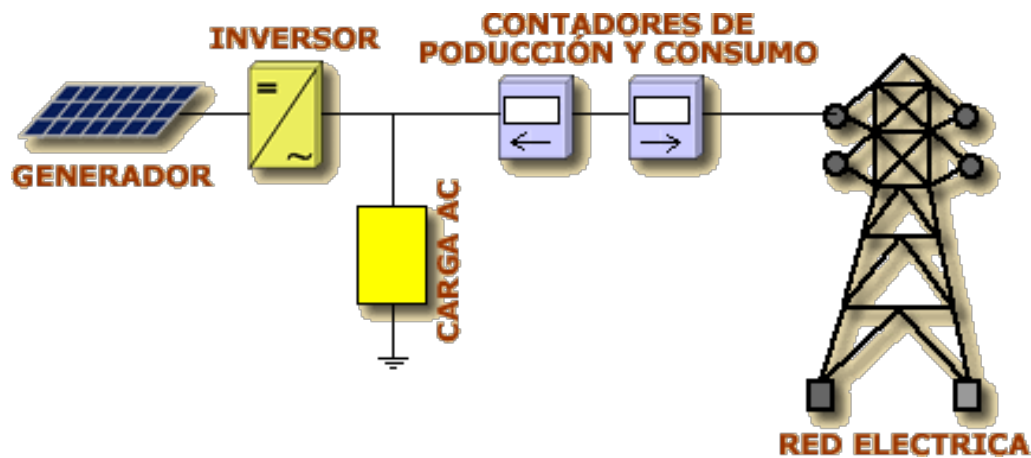


Ilustración 7 - Esquema de Instalación del Sistema Fotovoltaico

Fuente: (EnDev/GIZ, 2013)

3.4.6. COSTE ACTUAL NETO (NPC)

El costo actual neto (o costo del ciclo de vida) de un componente es el valor presente de todos los costos de instalación y operación del componente durante la vida útil del proyecto, menos el valor presente de todos los ingresos que obtiene durante la vida útil del proyecto. (HOMER Pro, 2020)

3.4.7. PERFORMANCE RATIO (PR)

El coeficiente de rendimiento (en inglés performance ratio) es una magnitud de la calidad de una instalación fotovoltaica y, por ello, constituye a menudo también un factor de calidad. "El coeficiente de rendimiento se indica en porcentaje y expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. De esta forma indica qué proporción de

la energía está realmente disponible para la alimentación tras haber descontado las pérdidas energéticas y el consumo propio para la operación.”(SMA, s/f)

3.5. CULTIVO DE TOMATE

El tomate es la hortaliza más difundida y la de mayor valor económico alrededor del mundo.

Tabla 4 - Producción Mundial de Tomate en 2018

Orden	País	Producción [ton]
1	China, Continental	61,523,462
2	India	19,377,000
3	Estados Unidos de América	12,612,139
4	Turquía	12,150,000
5	Egipto	6,624,733
6	Irán (República Islámica del)	6,577,109
7	Italia	5,798,103
8	España	4,768,595
9	México	4,559,375
10	Brasil	4,110,242
11	Nigeria	3,913,993
12	Federación de Rusia	2,899,664
13	Ucrania	2,324,070
14	Uzbekistán	2,284,217
15	Marruecos	1,409,437
16	Túnez	1,357,621
17	Portugal	1,330,482
18	Argelia	1,309,745
19	Camerún	1,068,495
20	Indonesia	976,790
TOTAL		156,975,272

Fuente: (FAOstat)

3.5.1. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

El término Edafoclimático es relativo a suelo y clima, medición de las condiciones del suelo y estudio del clima en determinada región.

El manejo racional y estudio de los factores climáticos es fundamental en el funcionamiento adecuado del cultivo. (InfoAgro, s/f)

3.5.2. TEMPERATURA

La temperatura óptima de desarrollo del tomate oscila entre 20-30°C durante el día y entre 1-17°C durante la noche. Temperaturas más altas o más bajas de los rangos antes mencionados pueden originar problemas en el desarrollo de la planta. (InfoAgro, s/f)

3.5.3. HUMEDAD

En el cultivo de tomate, la humedad relativa óptima oscila entre 60-80%. El rajado del fruto puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un periodo de estrés hídrico. También una humedad relativa baja, dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. (InfoAgro, s/f)

3.5.4. SUELO

La planta de tomate se cultiva mejor en suelos ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. (InfoAgro, s/f)

3.5.5. PRINCIPALES TIPOS DE TOMATE COMERCIALIZADOS

a) Tipo Beef

Este tipo de tomate es caracterizado por ser grande y multilocular. Es llamado "beef" por que al cortarlo en finas rodajas este asemeja a un "carpaccio" que es un corte de carne muy fina. El tomate beef tiene maduración de dentro hacia afuera y es por ello que se puede observar claramente el punto de corte del tomate. (Pere PT, 2020)



Ilustración 8 - Tomate Beef

Fuente: (Pere PT, 2020)

b) Tipo Vemone

El tomate Vemone es cultivado principalmente en Italia. En el cultivo del tomate se somete al mismo a un estrés hídrico lo que provoca un nivel de acidez y azúcar alto en el fruto.

c) Tipo Moneymaker

El tomate Moneymaker es de origen inglés, es cultivado mayormente en Europa, su nombre se debe a que produce cultivos abundantes lo cual genera bastante ganancia. (Plamundo, 2010)



Ilustración 9 - Tomate Moneymaker

Fuente: (Plamundo, 2010)

d) *Tipo Cereza (Cherry)*

El tomate cereza tiene su origen en América, es cultivado en climas cálidos donde la temperatura sea mayor a los 20 °C. (Hogarmanía, s/f)



Ilustración 10 - Tomate Cereza (Cherry)

Fuente: (Hogarmanía, s/f)

e) *Tipo Saladette*

El tomate Saladette es uno de los frutos más utilizados en el mundo. Su cultivo se da generalmente en climas cálidos que oscilen de 21-30 °C de día y entre 18-21°C de noche. La calidad del suelo es vital para la producción de este tipo de tomate, el pH idóneo debe estar en un rango de acidez de 6.2 a 6.8. Al sembrar en campo abierto, la distancia entre surcos debe estar de 1.5 a 1.8 metros, la distancia entre plantas debe ser de 45 a 60 centímetros.(Seminis, 2017)



Ilustración 11 - Tomate Saladette

Fuente: (Seminis, 2017)

3.5.6. ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE TOMATE

La fenología es determinada por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo.

Las etapas están divididas en cinco periodos:

3.5.7. ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTA JOVEN

Esta ocurre en el periodo de formación de las partes aéreas de la planta conocido como desarrollo del semillero. (Lopez, 2016)

3.5.8. CRECIMIENTO VEGETATIVO

Esta etapa comprende los primeros cuarenta y cinco días desde la siembra de la semilla, después de estos cuarenta y cinco días, la planta comienza su desarrollo continuo. (Lopez, 2016)

3.5.9. FLORACIÓN E INICIO DE CUAJE DE LA FRUTA

Esta etapa es extendida desde el inicio de la floración de la planta hasta que esta deja de crecer. Cuando la flor se fecunda y empieza su proceso de transformación en fruto es cuando tiene lugar el cuaje. (Lopez, 2016)

3.5.10. INICIO DE DESARROLLO DE LA FRUTA

Luego del cuaje, cuando inicia el crecimiento de la planta y la acumulación de la materia seca se presenta un ritmo estable hasta llegar a dos o tres grados de maduración.

3.5.11. MADURACIÓN DE LA FRUTA

“La maduración ocurre ochenta días después del trasplante, dependiendo de la nutrición y las condiciones climáticas. La cosecha continua hasta llegar de los 180 a 210 días después del trasplante.” (Lopez, 2016)

3.6. SITUACIÓN ACTUAL

Existen proyectos internacionales de sistemas de riego fotovoltaico, países como España, Portugal, Italia y Marruecos, ya cuentan demostradores a escala real en instalaciones de los regantes y condiciones reales de operación. "En España e Italia los sistemas de riego han funcionado satisfaciendo sus necesidades con 100% energía renovable mientras que los sistemas híbridos de Portugal y Marruecos han tenido 79% y 81% de penetración fotovoltaica. En promedio el consumo de agua ha reducido entre un 25% a 34%."(A. González, 2017)

3.6.1. SISTEMA DE BOMBEO FV EN VILLENA, ESPAÑA

Este es un proyecto de la empresa Maslowaten la cual recibe ayuda de la Unión europea para la implementación de este tipo de proyectos en Europa. El proyecto consiste en un bombeo fotovoltaico directo contra balsa sin hibridación. La potencia fotovoltaica es de 360 kW y la potencia de la bomba es de 250 kW con un volumen de agua anual de 633,215 m^3 . El proyecto tiene una amortización de 6 a 9 años analizando el costo de la energía eléctrica en Villena.

La empresa realizó un análisis del volumen diario bombeado [m^3] versus la radiación incidente [kWh/m^2] sobre el sitio del proyecto y es así cómo se obtuvo un volumen promedio diario bombeado de 2,100 m^3 /día. (A. González, 2017)

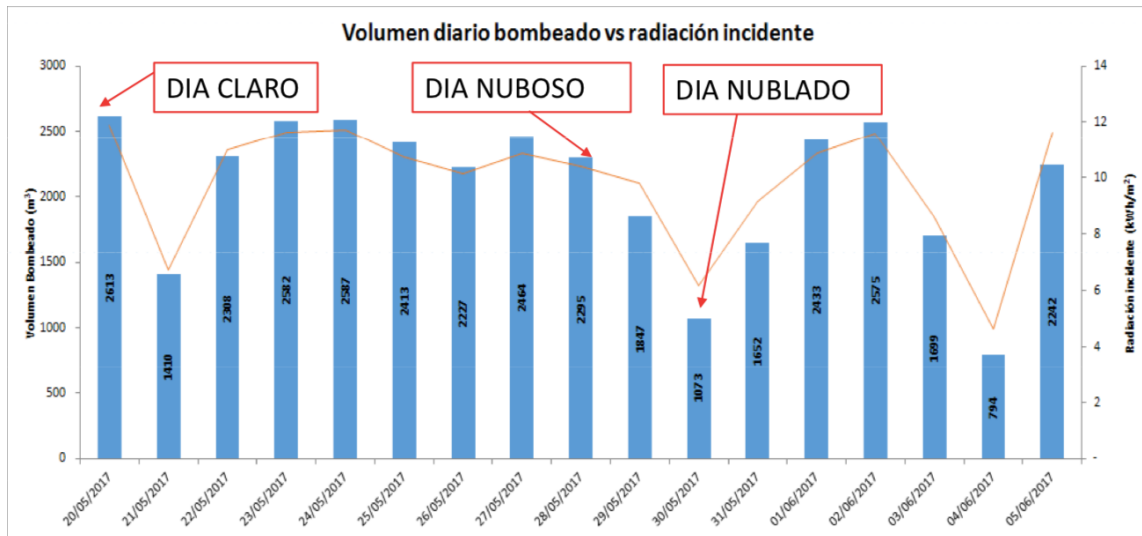


Ilustración 12 - Volumen Diario Bombeado vs Radiación Incidente Proyecto FV San Cristóbal en Villena, España

Fuente: (A. González, 2017)

3.6.2. SISTEMA DE RIEGO FOTOVOLTAICO EN ALTER DO CHÃO, BRASIL

En Alter Do Chão, Brasil se instaló un proyecto híbrido en una plantación de 200 hectárea de surco de olivos que ya tenía un sistema de riego gota a gota a presión constante instalado. En este proyecto se instalaron 140 kWp PV como sustitución parcial de diésel. Con la implementación del sistema solar fotovoltaico, la empresa obtuvo un ahorro del 80%.

Consumo de Diésel:

Tabla 5 - Consumo de Diésel con sistema PV

Año	Total [€]
2016	18,340.00
2017	6,946.00

Fuente: Elaboración propia con información de (Hogan & Fialho, 2016).

Tabla 6 - Consumo de Diésel sin sistema PV

Año	Total [€]
2016	72,602.00
2017	11,976.00

Fuente: Elaboración propia con información de (Hogan & Fialho, 2016).

Tabla 7 - Ahorro en consumo de Diésel

Año	Total [€]
2016	54,263.00
2017	5,030.00

Fuente: Elaboración propia con información de (Hogan & Fialho, 2016).

3.7. ASPECTOS FINANCIEROS

Los aspectos financieros de la investigación son los siguientes:

3.7.1. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

“Este parámetro representa la tasa de descuento que iguala al valor actual de los ingresos y el valor actual de los costos (F_i), es decir, que provoca que el VAN sea igual a cero.”(G. González & Rodríguez, 2020) Un proyecto es rentable económicamente si la TIR que se obtiene es mayor a la rentabilidad exigida a la inversión.

$$0 = \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1 + TIR)^i}$$

Ecuación 1 - Tasa Interna de Retorno (TIR)

Fuente: (G. González & Rodríguez, 2020)

3.7.2. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

“El Valor Actual Neto (VAN), parámetro definido como la suma algebraica de los flujos de efectivos ($F\$_i$) actualizados a la tasa de costo de capital (K_0), considerando tanto los ingresos como los egresos en la ecuación.” (G. González & Rodríguez, 2020)

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{F\$_i}{(1 + K_0)^i}$$

Ecuación 2 - Valor Actual Neto

Fuente: (G. González & Rodríguez, 2020)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la perspectiva utilizada para abordar este trabajo de investigación, así como las variables identificadas. Asimismo, se exponen las técnicas, instrumentos, materiales, y población y muestra utilizados y el procedimiento a seguir para el desarrollo de este.

4.1. ENFOQUE

El enfoque de el proyecto es cuantitativo. Se utiliza este enfoque debido a que se analizan datos de consumo de las bombas para dimensionar la potencia necesaria para alimentarlas con energía solar fotovoltaica. Se utiliza el razonamiento deductivo, del cual se derivan las hipótesis que se someten a prueba. De lo general a lo particular. Al final se analizan los resultados obtenidos y se establecen conclusiones respecto al análisis. (Suárez, 2019)

Enfoque	• Cuantitativo
Estudio	• No Experimental
Diseño	• Longitudinal
Alcance	• Descriptivo

Ilustración 13 - Esquema Metodológico del Proyecto

Fuente: Elaboración Propia

En el proyecto se realizará un estudio no experimental debido a que las variables independientes no serán manipuladas. Lo que se busca al utilizar este tipo de estudio es que los resultados obtenidos sean lo más parecidos a la realidad posible.

El diseño de la investigación será longitudinal, se estudiará y evaluará el comportamiento de los datos analizados a lo largo del tiempo.

El alcance sería descriptivo el cual tiene como objetivo especificar las características, dimensiones de diversos fenómenos, creación de preguntas y análisis de datos los cuales se abordarán a lo largo de la investigación.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son factores medibles, de manera que se debe analizar cual variable debería ser manipulada para generar los resultados a calcular.

4.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son aquellas cuyo cambio incide o afecta directamente a las variables dependientes. Para esta investigación las variables independientes son las siguientes:

- Tarifa Eléctrica
- Tamaño del Proyecto
- Condiciones Climatológicas
- Consumo de Energía Eléctrica

4.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes son afectadas directamente por las variables independientes y son estas las que son medidas. Las variables dependientes para este proyecto son las siguientes:

- Periodo de retorno de la inversión
- Costo de Inversión
- Potencia diaria promedio del sistema solar fotovoltaico
- Emisiones de CO₂

4.3. HIPÓTESIS

Este apartado contempla las propuestas de la hipótesis de investigación e hipótesis nula, con el fin de determinar si el sistema solar fotovoltaico funciona adecuadamente en el bombeo del sistema de riego.

4.3.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN (H_i)

La implementación de un sistema solar fotovoltaico para suplir el consumo energético de las bombas de riego para cultivo de tomate en finca "El Rosario", traerá beneficio económico desde que se recupera la inversión inicial del proyecto hasta cumplir la vida útil del mismo.

4.3.2. HIPÓTESIS NULA (H₀)

La implementación de un sistema solar fotovoltaico para suplir el consumo energético de las bombas de riego para cultivo de tomate en finca "El Rosario", no traerá beneficio económico que se recupera la inversión inicial del proyecto hasta cumplir la vida útil del mismo.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación, se presentan las técnicas e instrumentos utilizados para el adecuado desarrollo de la investigación.

a) *Técnicas aplicadas*

Para el desarrollo de la investigación, se implementa la entrevista para determinar datos cuantitativos de la finca. Así mismo, se aplican variables financieras para realizar una validación de la viabilidad financiera del proyecto.

b) *Entrevista*

Se realizarán entrevistas a los expertos encargados de finca "El Rosario" para obtener datos cuantitativos para conveniencia de la investigación.

c) *Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE)*

El costo nivelado de la electricidad (LCOE por sus siglas en ingles) es el valor del costo total actual de construir y operar una generadora de energía a lo largo de toda su vida útil. El mismo está encargado de medir los costes totales que el proyecto tendrá a lo largo de su vida útil y la divide entre la producción de energía durante sus años de operación.

Generalmente el LCOE es expresado en unidades monetarias por kilovatio hora [\$/kWh]. (Ragheb, 2017)

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^N \frac{At}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Et}{(1+i)^t}}$$

Fuente:(Hernández-Moro, 2013)

Donde:

I_0 : Costo de capital de la instalación fotovoltaica [\$].

A_t : Costos anuales que incluyen los costos de operación y mantenimiento y los costos de seguros [\$].

E_t : Producción anual de energía fotovoltaica [kWh].

i : Tasa de descuento [%].

N : Vida útil del proyecto [años].

4.4.2. INSTRUMENTOS

a) *Helioscope*

"HelioScope es una herramienta desarrollada por Folsom Labs, es una aplicación web que simplifica el proceso de diseño y dimensionamiento de una instalación de paneles solares."(Oscar, 2018)

b) *PVsyst*

"PVsyst es un programa de ordenador ampliamente utilizado para el diseño de instalaciones fotovoltaicas. Este programa posee una amplia base de datos de los principales componentes usados en una instalación del mercado internacional y por si eso no fuera suficiente se pueden añadir nuevos."(IngeLibre, 2014)

c) *Google Earth*

Google earth es un geo navegador que obtiene imágenes satelitales de edificios 3D e imágenes en relieve alrededor del mundo. (Google, 2020).

d) *Microsoft Excel*

"Se trata de un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo."(Pérez & Gardey, 2009)

e) Global Solar Atlas

El objetivo principal de Global Solar Atlas es proporcionar un acceso rápido y fácil a los datos de recursos solares a nivel mundial. Las capas de GIS y los mapas de carteles muestran el potencial de recursos mundiales, regionales y nacionales. También cuenta con una calculadora de rendimiento fotovoltaico que permite calcular el rendimiento de energía a largo plazo para un sistema fotovoltaico. (World Bank Group, 2019)

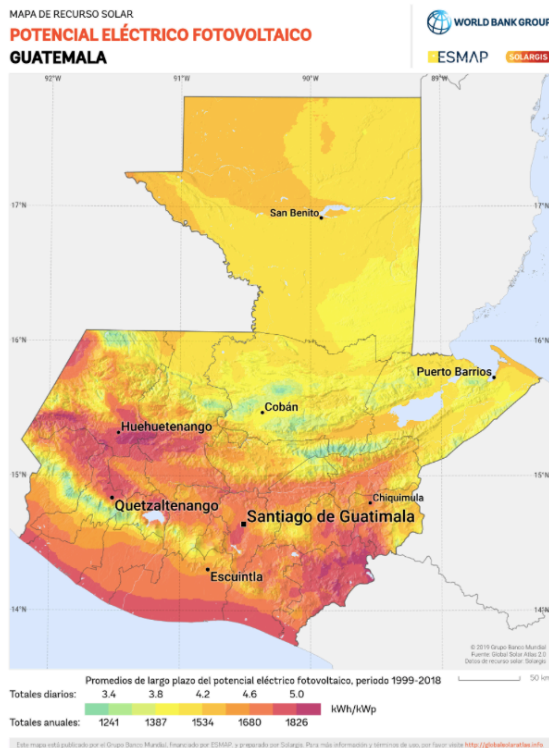


Ilustración 14 - Potencial Eléctrico Fotovoltaico, Guatemala

Fuente: (World Bank Group, 2019)

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

La investigación está centrada en Finca el Rosario en Amatitlán ubicado al sur de la ciudad de Guatemala.



Ilustración 15 - Mapa Guatemala

Fuente: Elaboración Propia

4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En este apartado se resume el proceso que se seguirá para comprobar si la hipótesis de investigación es acertada.

Para el comienzo de la investigación se hizo una búsqueda de información en libros y documentos los cuales brindan información de los temas con más importancia en la investigación como el cultivo de tomate, bombeo de riego y sistemas solares fotovoltaicos.

Seguidamente se establecieron preguntas de investigación y objetivos del proyecto para realizar el marco teórico correspondiente. A partir de esto se establecieron variables de investigación y se escogieron las herramientas que van de la mano con el estudio del proyecto.

A continuación, se hará un análisis del volumen de agua irrigada mensualmente considerando los datos meteorológicos que indican la precipitación para cada uno de los meses del año 2020, de esta manera se separa los meses de invierno y verano.

Luego se recolectarán los datos anuales de irradiación en la zona de Amatitlán haciendo uso del programa Global Solar Atlas.

Al obtener los datos de precipitación e irradiación incidente, se hará una comparación mensual de los mismos mediante gráficas elaboradas en Microsoft Excel.

A partir de los datos obtenidos se hará un dimensionamiento de el sistema solar fotovoltaico que cumpla con la potencia necesaria para alimentar las bombas de riego.

De acuerdo al dimensionamiento calculado, se hará uso de las herramientas PVsyst y Helioscope para realizar una simulación del proyecto.

Con los datos obtenidos en el dimensionamiento, se hará un análisis financiero para analizar la factibilidad del proyecto.

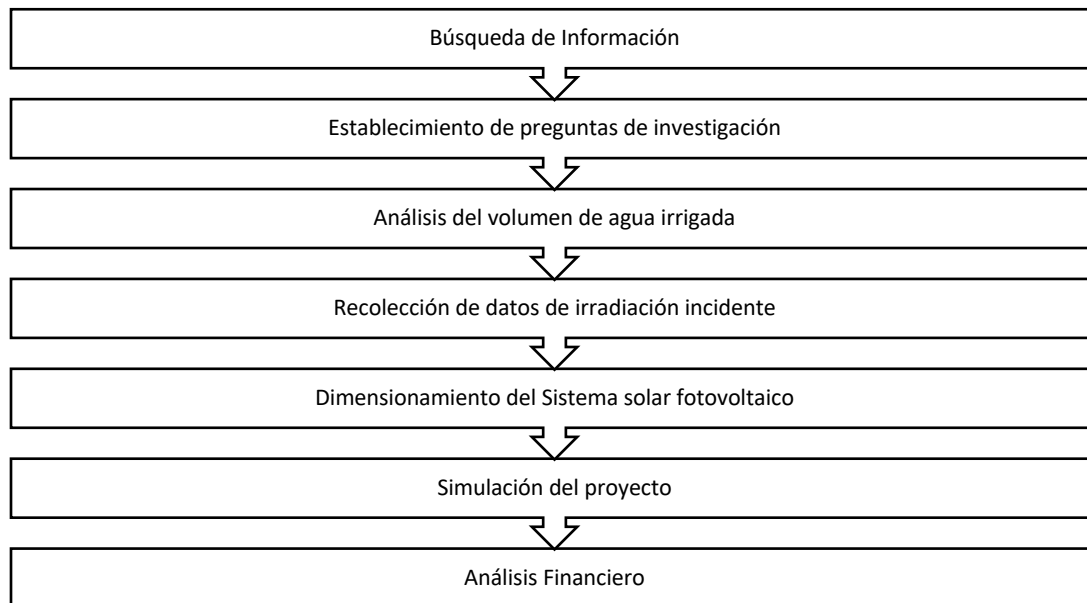


Ilustración 16 - Metodología de Estudio

Fuente: Elaboración Propia

4.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se muestran las actividades que se realizarán para completar la investigación en un período de 10 semanas.

Actividades para la elaboración del Proyecto de Investigación	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción										
Definir Tema de investigación										
Planteamiento del Problema										
Marco Teórico										
Metodología										
Análisis del consumo de agua e irradiación incidente										
Elaboración de dimensionamiento del sistema solar										
Resultados y Análisis										
Conclusiones										
Recomendaciones										
Bibliografía										
Anexos										
Artículo Científico										
Pre-defensa										

Ilustración 17 - Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a la metodología de estudio antes expuesta. El análisis de los datos y resultados dará respuesta a las preguntas de investigación establecidas.

5.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

El análisis de la de la demanda de energía de Finca "El Rosario", es analizado a partir de información brindada por el personal de la finca. Se hizo un análisis del volumen de agua en m³

Para cada día del año, tomando en cuenta un estudio de la precipitación en la zona de Amatitlán. En el análisis de consumo también está incluida una pequeña oficina la cual está conectada al contador analizado. Actualmente el consumo de energía promedio mensual es de 656.74 [kWh].

El consumo mensual de energía de la finca en el sector de las 6 hectáreas analizadas se refleja en la siguiente ilustración.

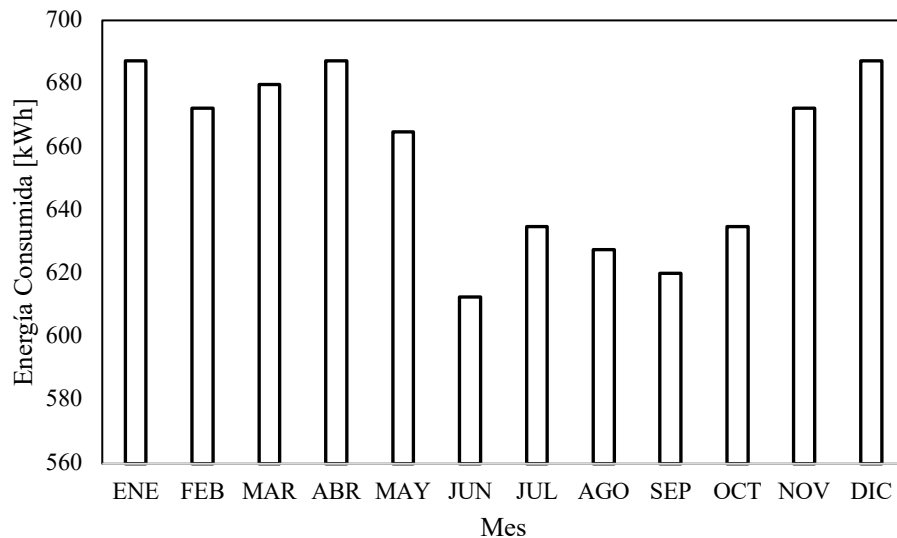


Ilustración 18 - Consumo promedio de Energía mensual consumida en Finca "El Rosario"

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración se observa los meses de mayor y menor consumo, estos son influidos por las temporadas de invierno (de octubre a abril) y verano (de mayo a septiembre). El mes de mayor consumo de energía es el mes de enero con 687.18 [kWh] y el de menor consumo es junio con 612.61 [kWh].

5.2. ANÁLISIS TÉCNICO

En este capítulo se muestra detalles del estudio de precipitación promedio mensual, radiación promedio mensual, diseño del sistema fotovoltaico y simulaciones del mismo.

5.2.1. ESTUDIO DE PRECIPITACIÓN

A través del programa Climate Data (Climate Data, 2020) se hizo un estudio promedio mensual de la precipitación [mm] en la zona de Amatitlán, Guatemala. La información obtenida representa los meses de mayor y menor precipitación incidente dependiendo de la temporada del año.

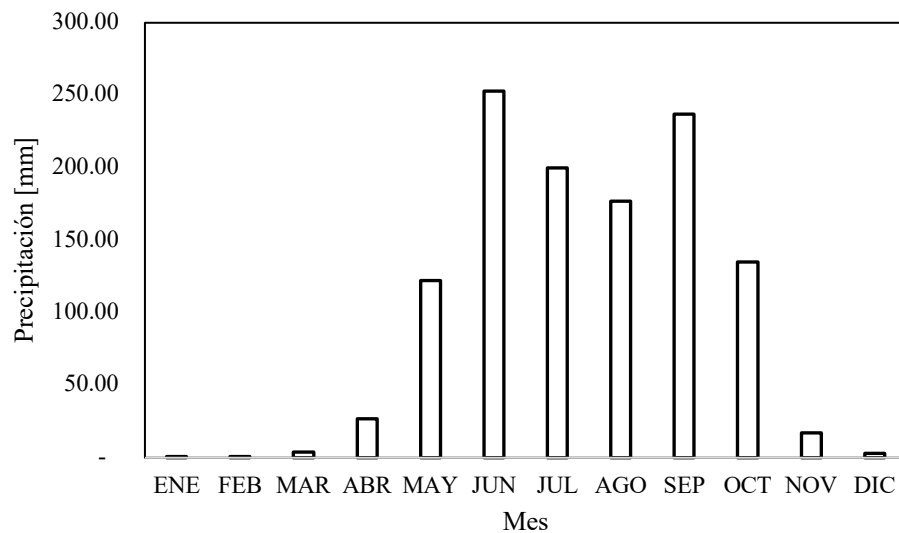


Ilustración 19 - Precipitación promedio mensual en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. VOLUMEN DE AGUA IRRIGADA

El volumen de agua irrigada en la plantación depende de la precipitación incidente en la zona, de modo que el día que llueve, no se riega. En invierno hay menor consumo de agua y por consiguiente en verano un mayor consumo como se observa en la siguiente ilustración.

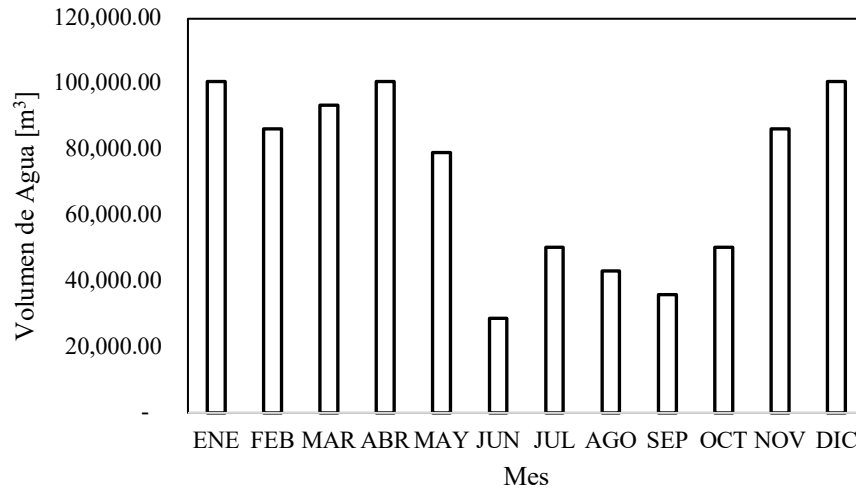


Ilustración 20 - Volumen de agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. RADIACIÓN INCIDENTE

A través de la herramienta de Global Solar Atlas (Global Solar Atlas, 2020) se obtuvo la radiación incidente promedio mensual en la zona de Amatitlán, Guatemala. Este análisis muestra los meses con mayor y menor radiación incidente.

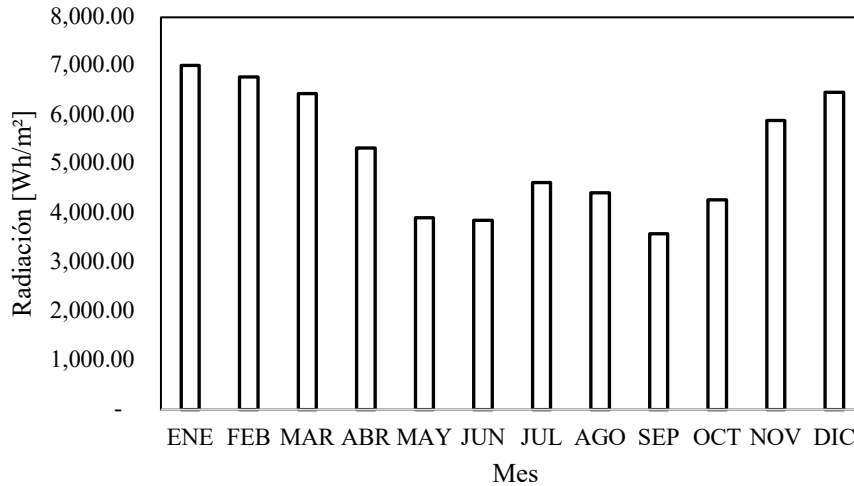


Ilustración 21 - Radiación promedio mensual [Wh/m²] en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. RADIACIÓN INCIDENTE VERSUS VOLUMEN DE AGUA IRRIGADA

Al obtener los datos de radiación y volumen irrigado de agua, se hizo una comparación del comportamiento mensual de ambos datos para visualizar la compatibilidad de ambas curvas como se observa en la siguiente ilustración.

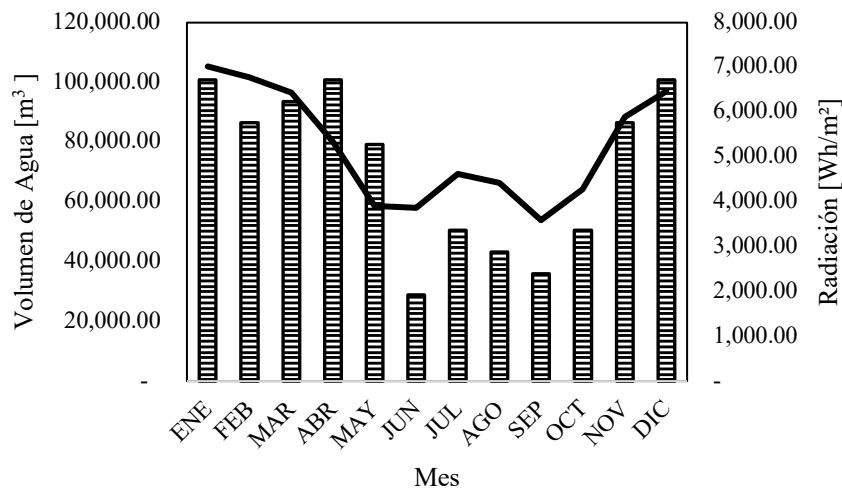


Ilustración 22 - Radiación promedio mensual [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5. DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Para el sistema solar fotovoltaico conectado a red, se decidió utilizar paneles mono-cristalinos Canadian Solar "CS6K-300MS" de 300W de potencia. El módulo fotovoltaico tiene una eficiencia de 18.33%, tiene un peso de 18.2 kg y tiene dimensiones de 1650 x 992 x 40 (mm). Se instalarán 16 módulos fotovoltaicos los cuales cubrirán el 95% de la demanda de energía de el sector analizado de la finca. Este cálculo se realiza a partir de siguiente ecuación:

$$\text{Número Paneles FV} = \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Irradiación anual} \times \text{Cap. nom. FV} \times \text{Pérdidas}}$$

Ecuación 3 - Cálculo de numero de módulos fotovoltaicos

Fuente: (Gamboa, 2014)

5.2.6. SIMULACIÓN HELIOSCOPE

El sitio donde se decidió ubicar el sistema FV es estratégico ya que está cerca al cuarto de bombas y al pozo "manzana rosal" el cual se está analizando. En la siguiente ilustración se observa el área abarcada por el proyecto la cual es de 1,072 [m²] en donde irán ubicados los 16 módulos de 300 [W] de potencia con una potencia total de 4.8 [kW]. Por la ubicación del proyecto, el azimut calculado es de 209° utilizando un marco de referencia en el que el módulo orientado directamente al norte es considerado 0° y una orientación diferente es considerada positiva en sentido de las agujas del reloj (marco de referencia usado por el software helioscope) con una inclinación de 15°.

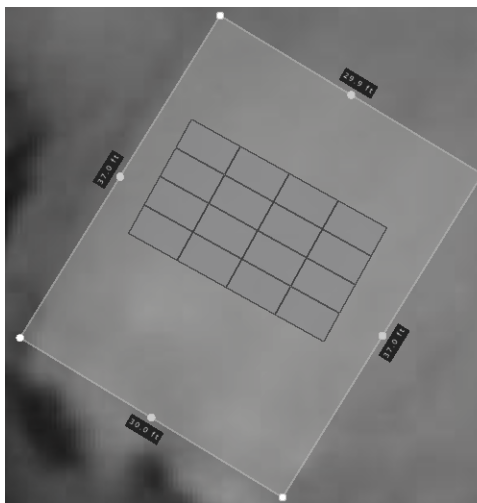


Ilustración 23 – Área ocupada por el sistema solar fotovoltaico simulado en Helioscope.

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

Con base a los resultados obtenidos en la simulación, se decidió utilizar un inversor Canadian Solar “CSI-4000TL-CT” de 4.02[kW] de potencia y un voltaje de salida de 240[V].

Al establecer estos parámetros, helioscope genera un reporte anual de la producción de energía en [kWh], la herramienta también calcula pérdidas en el sistema y la proporción de rendimiento (PR). La ilustración muestra la producción anual de energía la cual es de 7,640 [kWh].

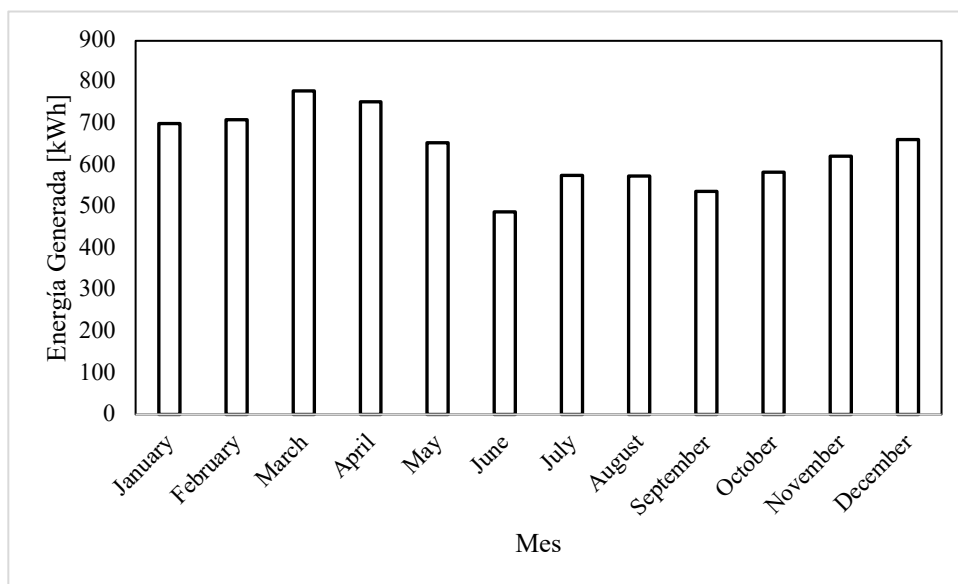


Ilustración 24 - Producción mensual promedio de energía [kWh] calculado en Helioscope

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

5.2.7. SIMULACIÓN PVSYS

En la investigación se realizó también la simulación del sistema fotovoltaico con la herramienta Pvsyst para la obtención de datos de generación.

La simulación fue realizada con paneles mono-cristalinos Canadian Solar "CS6K-300MS" de 300W de potencia los cuales serán ubicados de manera que se ubicarán cuatro módulos en serie y cuatro cadenas en paralelo. La inclinación de los paneles es de 15° con un azimut de 29°. El inversor escogido es Canadian Solar "CSI-4000TL-CT" de 4.02[kW] de potencia y un voltaje de salida de 240[V]. La potencia global del conjunto en condiciones óptimas de laboratorio (STC) es de 4,800 [Wp] y en condiciones de funcionamiento es de 4,336 [Wp]. La energía promedio anual producida en la simulación es de 7,200 kWh.

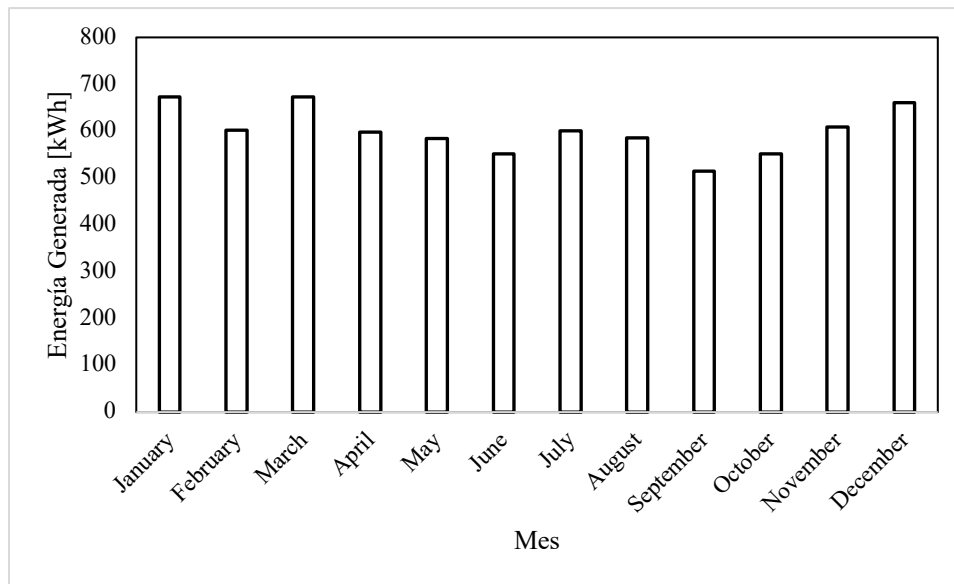


Ilustración 25 - Producción mensual promedio de energía [kWh] calculado en Pvsyst

Fuente: (Pvsyst, 2020)

5.2.8. DIAGRAMAS DE EL SISTEMA

Para la investigación se hizo un diagrama el cual demuestra la condición en la que se encuentra la conexión de ambas bombas en este momento y cómo se vería la conexión con la implementación del sistema solar fotovoltaico.

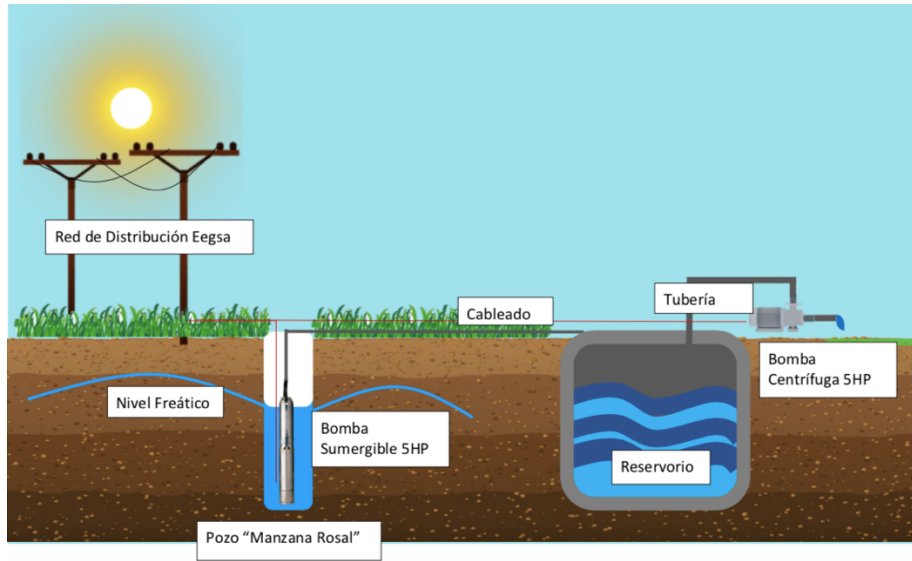


Ilustración 26 - Condición actual del sistema de bombeo conectado a la red

Fuente: Elaboración Propia

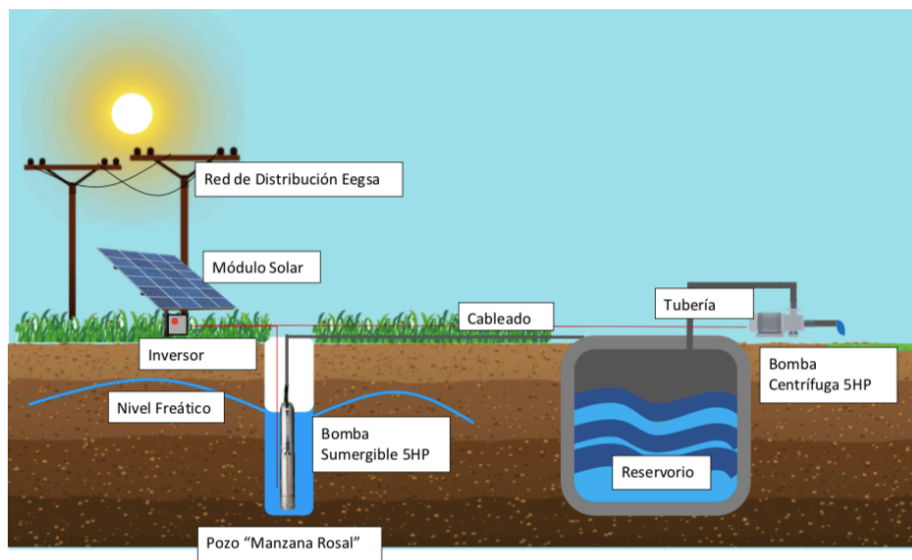


Ilustración 27 - Sistema de bombeo alimentado por sistema solar fotovoltaico

Fuente: Elaboración Propia

5.2.9. ANÁLISIS FINANCIERO

El propósito de el análisis financiero es calcular el costo del proyecto, el ahorro que este proyectará a lo largo de su vida útil para luego calcular el periodo de retorno de la inversión en años, de esta manera se evaluará la factibilidad del proyecto.

Para el análisis financiero se establecieron los siguientes parámetros de entrada.

Parámetros de entrada	
Capacidad Instalada [kW]	4.80
Costo de Capital Especifico [\$/kW]	\$ 1,500.00
Tasa de Inflación [%]	1.50%
Tarifa de energía eléctrica [\$/kWh]	0.179
Incremento en tarifa anual [%]	1.50%
Costos por O&M [\$/kW*año]	19
Costo Capital Total [\$]	\$ 7,200.00
Inversión de fondos propios [%]	30%
Inversión de fondos propios [\$]	2,160.00
Tasa de Interés fondos propios	12%
Deuda [%]	70%
Factor de degradación del Sistema [%/año]	0.70
Deuda [\$]	\$ 5,040.00
Tasa de Interés Préstamo [%]	8.5%
Plazo de préstamo [años]	10.00
Generación de energía [kWh-año]	7,200.000
Seguros [\$-año]	\$ 90.00
Vida útil del proyecto [años]	25
Tasa de descuento [%]	12.5%
Costo Capital Promedio Ponderado [%]	9.55%

Ilustración 28 - Parámetros de entrada de el análisis financiero para el proyecto Solar Fotovoltaico en Finca "El Rosario"

Fuente: Elaboración Propia

Salidas	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Valor Actual Neto (VAN) [\$]:	\$ 2,022.16	\$ 1,639.75
Periodo de recuperación de la inversión [años]:	6.331735581	10
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]:	16%	12%
ROI [%]	28%	23%

**Ilustración 29 - Valores de salida de el análisis financiero para el Proyecto Solar
Fotovoltaico en Finca "El Rosario"**

Fuente: Elaboración Propia

5.3. LIMITACIONES

- Debido al periodo de tiempo en el cual se elaboró la investigación, el análisis de volumen de agua irrigada para los meses de enero a septiembre se realizó basándose en la precipitación en la zona de Amatitlán y las entrevistas realizadas a los encargados de la finca. Haciendo un análisis real del agua promedio consumida en la finca se puede comparar la curva de agua consumida versus radiación incidente.
- La investigación se hizo en año de fenómeno de la niña, esto quiere decir que hubo más lluvia, esto no permitió ver como se comportaría el consumo de agua en época de riego constante.

VI. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha realizado un estudio de factibilidad técnica y económica del sistema de riego alimentado por módulos solares fotovoltaicos en una finca de cultivo de tomate ubicada en Amatitlán, Guatemala. Para realizar el estudio de factibilidad técnica se ha hecho el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico basado en el consumo promedio mensual de energía eléctrica de las bombas, dependiendo directamente de los días irrigados. Seguidamente se hizo simulación en PVsyst y Helioscope, analizando mediante estos la generación promedio anual de energía. Para el estudio de factibilidad económica se tomó los datos de generación promedio anual de energía brindados por los softwares y se establecieron parámetros de entrada que dirigieron al estudio a calcular VAN, TIR y periodo de retorno de inversión. La conclusión general es la siguiente:

- Al realizar el análisis de precipitación versus radiación incidente se ha demostrado que los sistemas se complementan. La finca tiene un consumo promedio anual de energía de 7,800 [kWh] de modo que el sistema dimensionado generará 7,200 [kWh] el cual cubrirá el 95% de la demanda eléctrica de la finca. Al realizar el estudio financiero se concluyó que el periodo de retorno de inversión del proyecto es de seis años y cinco meses, lo cual beneficia al proyecto ya que este tiene una vida útil de 25 años.

Las conclusiones con base a los objetivos específicos son las siguientes:

- El consumo promedio mensual de agua de la finca de cultivo de tomate con extensión territorial analizada de 6 hectáreas es de 856,000 [m³].
- La demanda de energía eléctrica necesaria para suplir el 95% del consumo eléctrico de las dos bombas instaladas en la finca es de 7,200 [kWh/año].
- El dimensionamiento realizado dio como resultado un área abarcada por el proyecto de 1,072 [m²] en donde irán ubicados los 16 módulos de 300 [W] de potencia con una potencia total de 4.8 [kW].
- La inversión inicial del proyecto es de 7,200 [\$] para los 4.8 [kW] de potencia instalados, esta inversión tiene un periodo de retorno de seis años y dos meses, sin financiamiento y un periodo de retorno de diez años, con financiamiento.

VII. RECOMENDACIONES

1. Al evaluar el consumo hídrico de la finca y la demanda eléctrica que el sistema de bombeo requiere, es recomendable dimensionar el sistema para cubrir la demanda eléctrica a un 95% el cual corresponde a 7,200 [kWh/año] de generación.
2. Considerando la inversión inicial del proyecto de 7,200[\$], al calcular el periodo de retorno en años, VAN y TIR, es recomendable realizar el proyecto sin financiamiento.

Debido a la limitante del tiempo y las condiciones climatológicas, algunos datos presentados en la investigación fueron adquiridos a partir de estudio de precipitación y entrevistas a los encargados de la finca. En cuanto a las condiciones climatológicas, el año 2020 ha sido un año con bastante precipitación, esto hace que el consumo de agua disminuya.

Se espera que esta investigación sirva de partida para futuras investigaciones, considerando condiciones climatológicas y una especie diferente de planta. A la vez se espera que la investigación sirva de cimiento para la implementación del mismo en finca El Rosario, considerando los cálculos y datos obtenidos en la misma.

VIII. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL

Este capítulo servirá para la discusión de trabajos futuros basados en los resultados obtenidos de la presente investigación. Como se ha mencionado anteriormente en la investigación, la implementación de un sistema solar fotovoltaico de 4.8 [kW] de potencia para suplir la demanda eléctrica de un sistema de bombeo de dos bombas de 5 [HP] para riego es económica y técnicamente factible después de realizar gráficos de comparación de tecnologías y un análisis financiero.

La segunda etapa de este proyecto sería automatizar este sistema de riego, de modo que las bombas se activen en el momento en que los sensores detecten que no hay suficiente humedad en la tierra. Realizando esta investigación también puede calcularse el ahorro de agua que se podría generar al realizar la automatización, así como el rendimiento que se obtendría en el cultivo al contar con el suministro de agua en el momento que este es requerido.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Agriculturers. (2015). *Riego por Goteo*. <http://agriculturers.com/instalacion-de-un-sistema-de-riego-por-goteo/>

Banco Mundial. (2019). *EL AGUA EN LA AGRICULTURA*. [bancomundial.org. https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture](https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture)

BM. (2016). *Bomba Sumergible*. https://www.bombasumergible.com/definicion_bomba_sumergible.html

Cenicaña. (2015). *Riego por aspersión*. <https://www.cenicana.org/riego-por-surcos/>

CEPAL. (2019). *América Latina y el Caribe alcanzará sus niveles máximos de población hacia 2058*. [Cepal.org. https://www.cepal.org/es/comunicados/america-latina-caribe-alcanzara-sus-niveles-maximos-poblacion-2058](https://www.cepal.org/es/comunicados/america-latina-caribe-alcanzara-sus-niveles-maximos-poblacion-2058)

Deras, F. (2020). *ENFOQUE BASADO EN EL COSTE ACTUAL NETO PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD NOMINAL DC DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE AUTOCONSUMO SIN ALMACENAMIENTO USANDO LABVIEW*.

Díaz Ortiz, J. E. (2006). *Riego por Gravedad*. Universidad del Valle. https://books.google.com.gt/books?id=MFad1TnHAIQC&dq=riego+por+gravedad&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

EcuRed. (2020). *Bomba centrífuga*. https://www.ecured.cu/Bomba_centri%C3%ADfuga

EnDev/GIZ. (2013). *Instalacion de Sistemas Fotovoltaicos*. https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%ADn_de_SFD_-_2013.pdf

Evans. (2020). *Bomba centrifuga 5HP trifásica*. <https://www.evans.com.mx/bombas-de-superficie/industrial/bomba-centrifuga-5hp-trifasica-mt4me05004.html>

FAO. (2014). *Evapotranspiracion del cultivo*. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>

Fuentes, J. L. (2003). *Tipos de Riego*. Mundi-Prensa. https://books.google.com.gt/books?id=P-FBylgVfNoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=aspersi%C3%ADn&f=false

Geroca. (2000). *Evaluación del Riego*. <https://geroca.ias.csic.es/evaluacion.html>

González, A. (2017). *Villena. Sistema de Bombeo FV de 360 kW*. DOMUS. https://www.maslowaten.eu/files/presentaciones/Villena_jun2017/Domus.pdf

González, G., & Rodríguez, E. (2020). *Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía distribuida en la ciudad de Arica, Chile*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>

Gran Eleccion. (2020). *Encontrar el Mejor Bomba De Agua Sumergible Para Pozo 2020 La mejor guía de compra y Comentarios*. <https://graneleccion.com/mejor-bomba-de-agua-sumergible-para-pozo>

Hernandez-Moro, J. (2013). *Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132.

Hogan, R., & Fialho, L. (2016). *Sistema de irrigação fotovoltaica de Alter do Chão*. https://www.maslowaten.eu/files/presentaciones/Alter_Sept17/pub/UPM%20-%20Sistema%20Alter.pdf

Hogarmanía. (s/f). *Cómo cultivar tomates cherry*. <https://www.hogarmania.com/jardineria/mantenimiento/huerta/cultivar-tomates-cherry-18885.html>

HOMER Pro. (2020). *Net Present Cost*. https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/net_present_cost.html

IDEAM. (2014). *RADIACIÓN SOLAR*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/94919759/RADIACION+SOLARFIG+1.PNG/5a2ca48e-8460-41a1-bd5b-f951cdb6f772?t=1572461536029>

InfoAgro. (s/f). *El cultivo del tomate (Parte I)*. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp

InfoAgro. (2020). *Humedad del suelo*. InfoAgro. <https://infoagro.com.ar/humedad-del-suelo/>

- Ingelibre. (2014, octubre 28). *Tutorial PVsyst – base de datos meteorológicos*. <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/04/22/tutorial-pvsyst-base-de-datos-meteorologicos/>
- Lopez, L. (2016). *MANUAL TÉCNICO DEL CULTIVO DE TOMATE*. INTA. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Medina, J. A. (1985). *Riego por Goteo*. IICA Venezuela. https://books.google.com.gt/books?id=sGw2ILQLGg8C&dq=riego+por+goteo&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Ministerio de Agricultura Coquimbo. (2000). *Estimación de la demanda de agua en los Cultivos*. Gobierno Regional e Coquimbo.
- Oscar. (2018). *HelioScope, la mejor herramienta de diseño solar fotovoltaico para integradores*. Engimia. <https://engimia.com/blog/helioscope-la-mejor-herramienta-de-diseno-solar-fotovoltaico-para-integradores>
- Pere PT. (2020). *Tomates beef, cómo son*. <https://actualfruveg.com/2018/03/15/beeftomato-tomates/>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2009). *Excel*. <https://definicion.de/excel/>
- Plamundo. (2010). *Tomate “Moneymaker” (Solanum lycopersicum)*. [https://www.magicgardenseeds.es/Es-bueno-saber.../Tomate-%27Moneymaker%27-\(Solanum-lycopersicum\)-A.1248-](https://www.magicgardenseeds.es/Es-bueno-saber.../Tomate-%27Moneymaker%27-(Solanum-lycopersicum)-A.1248-)
- Portalfruticola. (2018). *Métodos de Medición de la humedad del suelo*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/08/30/metodos-de-medicion-de-humedad-del-suelo-del-campo-al-laboratorio/>
- Ragheb, M. (2017). *Chapter 25—Economics of Wind Power Generation. In Wind Energy Engineering (pp. 537-555)*. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-809451-8.00025-4
- Roselló, M. J. (2011). *La Importancia de Comer Sano y Saludable*. Penguin Random House Grupo Editorial España. <https://books.google.com.gt/books?id=LPf2->

RrvuyEC&lpg=PT26&ots=LxQnP70k6p&dq=cuantos%20gramos%20de%20comida%20debe%20comer%20una%20persona%20al%20d%C3%ADa&lr&hl=es&pg=PT25#v=onepage&q&f=false

Sandoval, J. (s/f). *Principios de Riego y Drenaje*. USAC. <https://books.google.com.gt/books?id=afqo6tXEvtQC&pg=PA11&dq=riego+agricola&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiXknWeqMzsAhUxw1kKHVThDQUQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=riego%20agricola&f=false>

Seminis. (2017). *Recomendaciones para sembrar tomate saladette*. <https://www.seminis.mx/blog-recomendaciones-para-sembrar-tomate-saladette/>

SMA. (s/f). *Coeficiente de rendimiento*. <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-es-11.pdf>

Sondagua. (2018). *Qué es una bomba hidráulica y cómo funciona?* <http://www.sondagua.cl/blog/una-bomba-hidraulica-funciona/>

Suárez, Y. (2019). *La Investigación Científica: Enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto*. http://148.215.1.182/bitstream/handle/20.500.11799/108419/secme-22923_1.pdf?sequence=1

World Bank Group. (2019). *Global Solar Atlas*. World Bank Group. <https://olc.worldbank.org/content/global-solar-atlas>

X. ANEXOS

10.1. RADIACIÓN INCIDENTE

Mediante el programa Global Solar Atlas se obtuvo los datos de la radiación incidente sobre la zona de Amatitlán durante el año 2020.

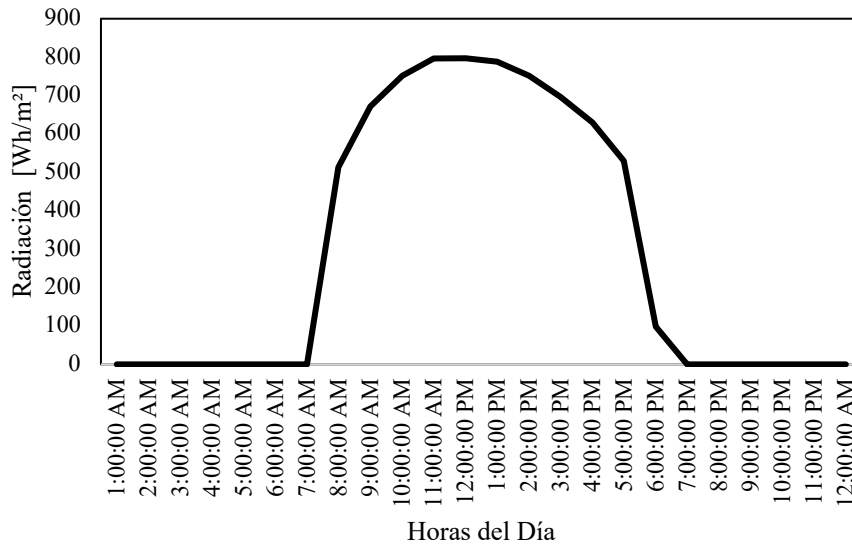


Ilustración 30 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de enero en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

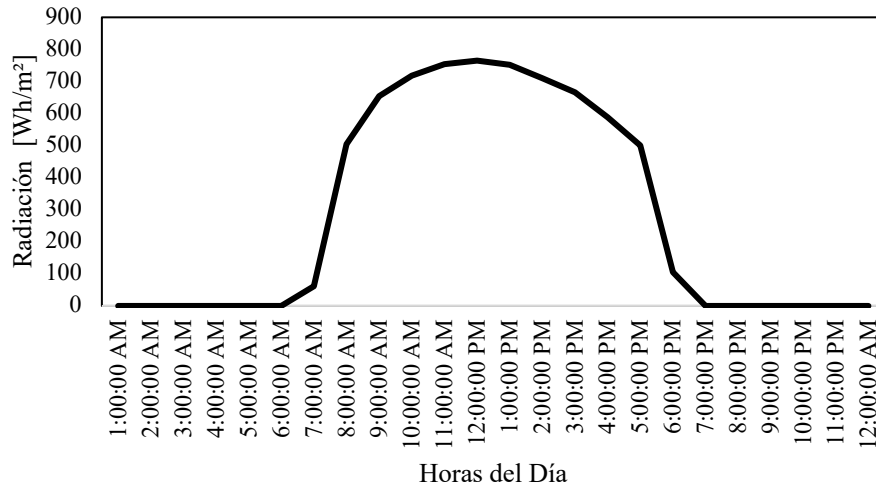


Ilustración 31 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de febrero en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

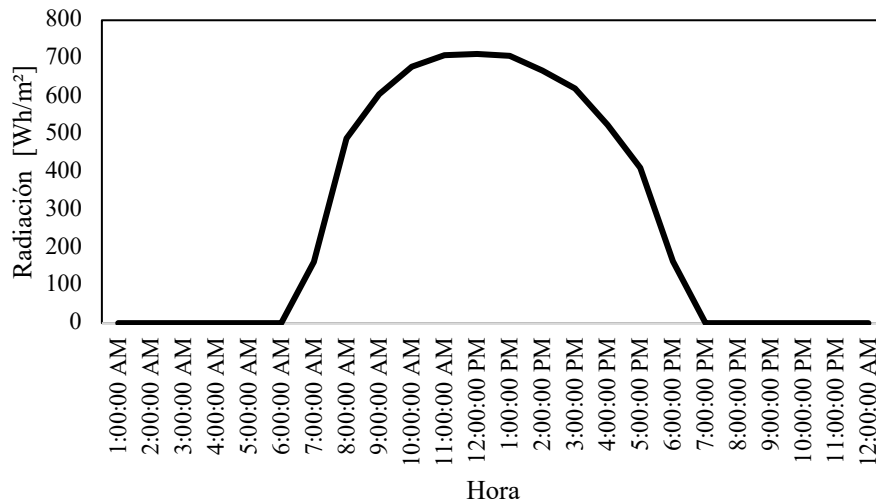


Ilustración 32 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de marzo en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

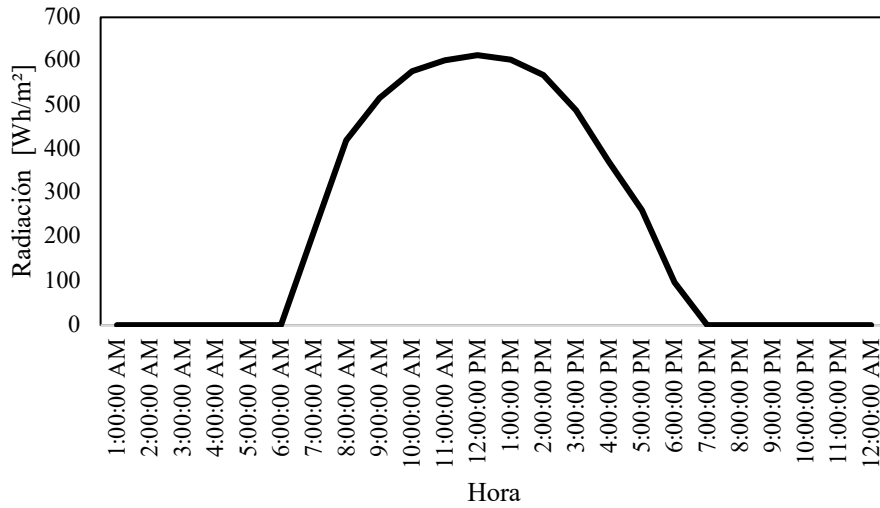


Ilustración 33 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de abril en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

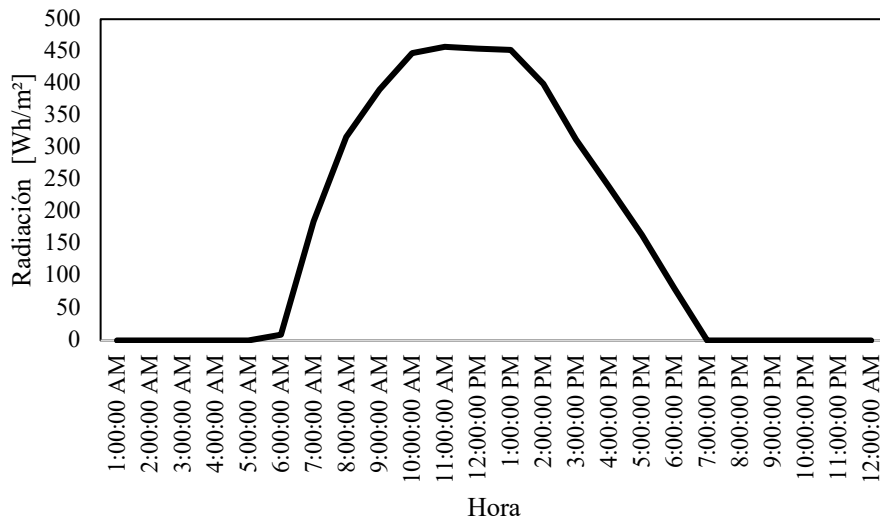


Ilustración 34 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de mayo en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

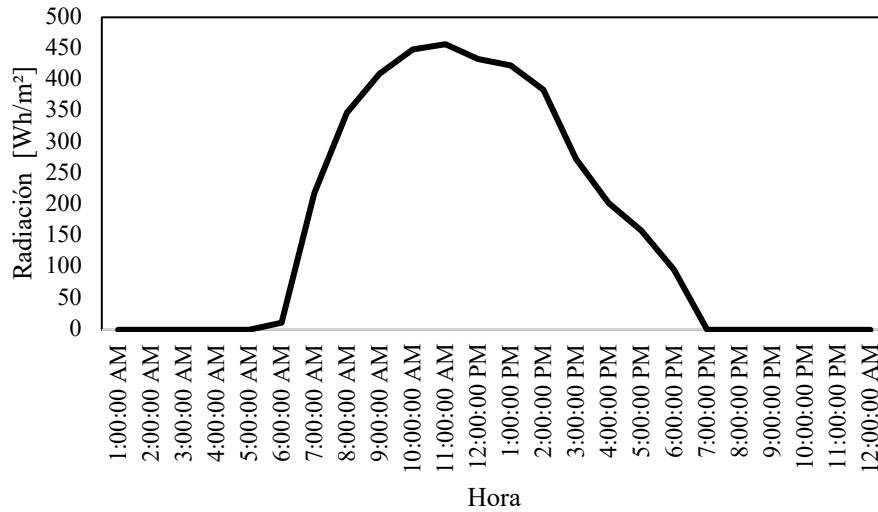


Ilustración 35 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de junio en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

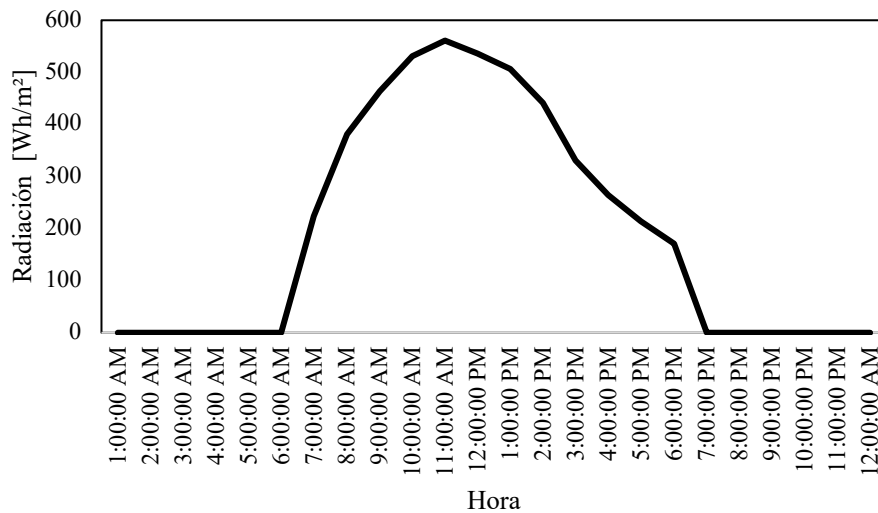


Ilustración 36 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de julio en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

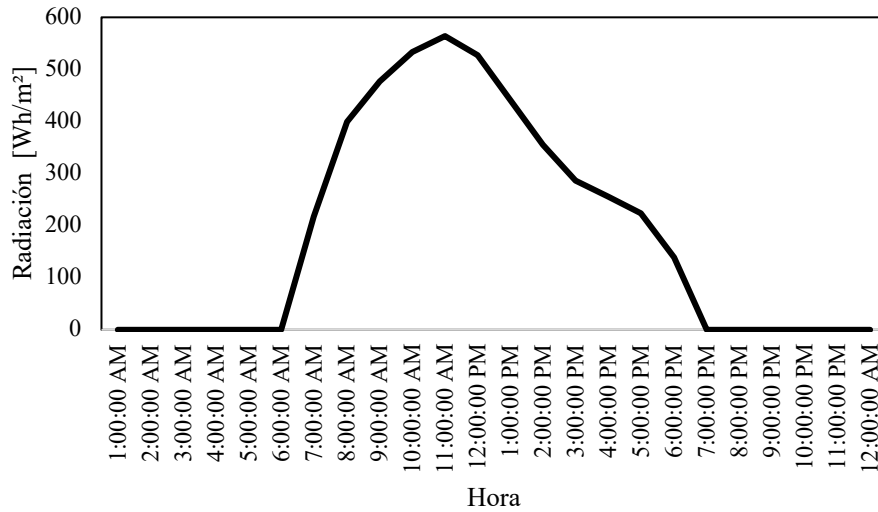


Ilustración 37 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de agosto en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global solar atlas

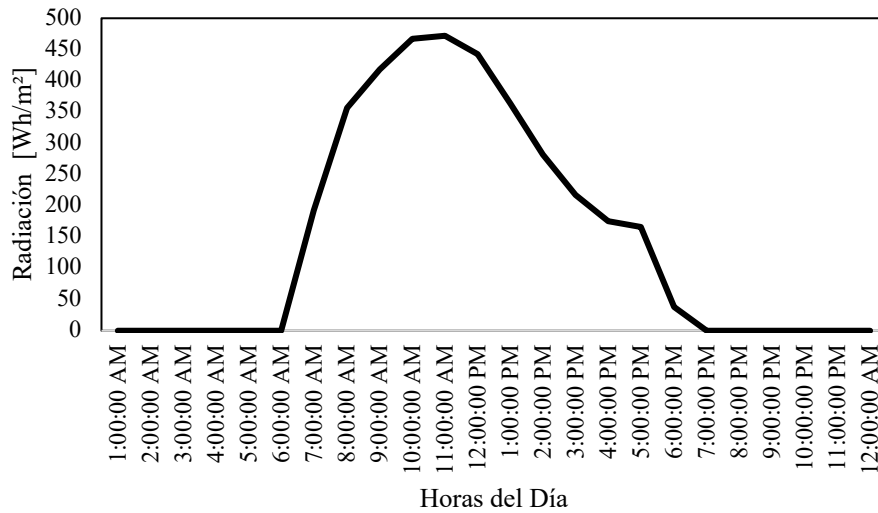


Ilustración 38 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de septiembre en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global solar atlas

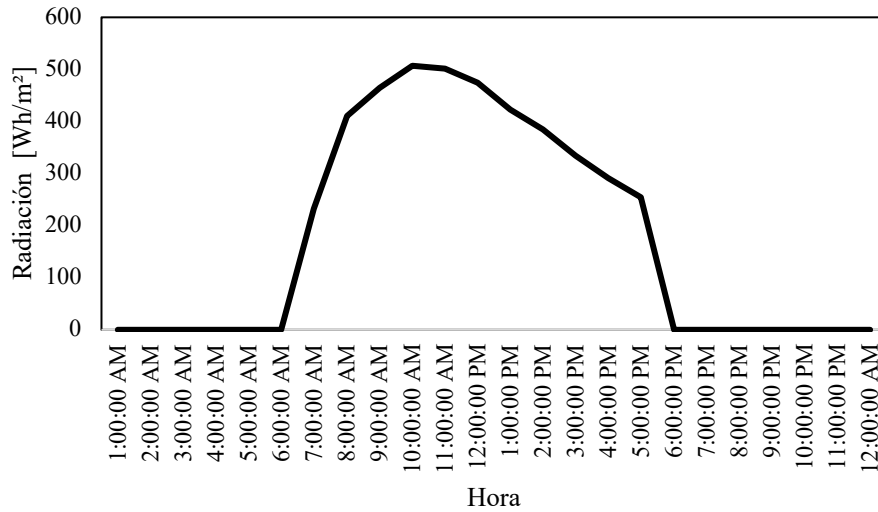


Ilustración 39 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de octubre en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

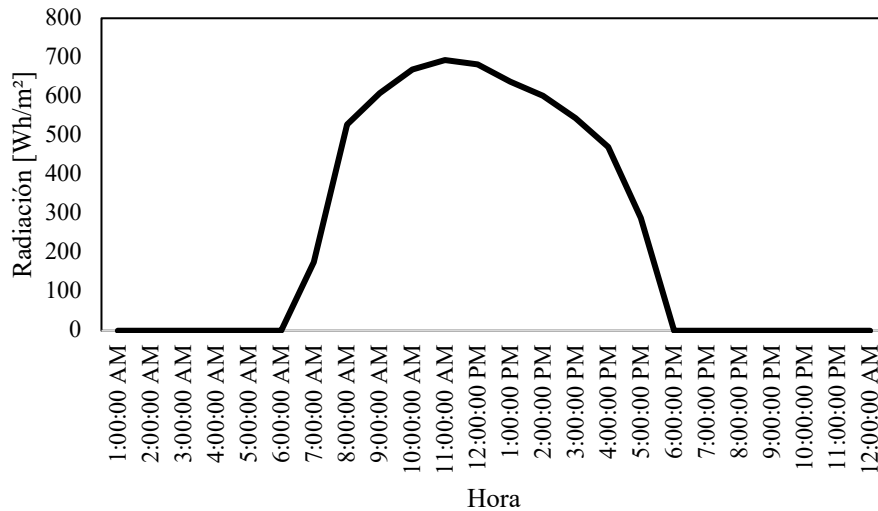


Ilustración 40 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de noviembre en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

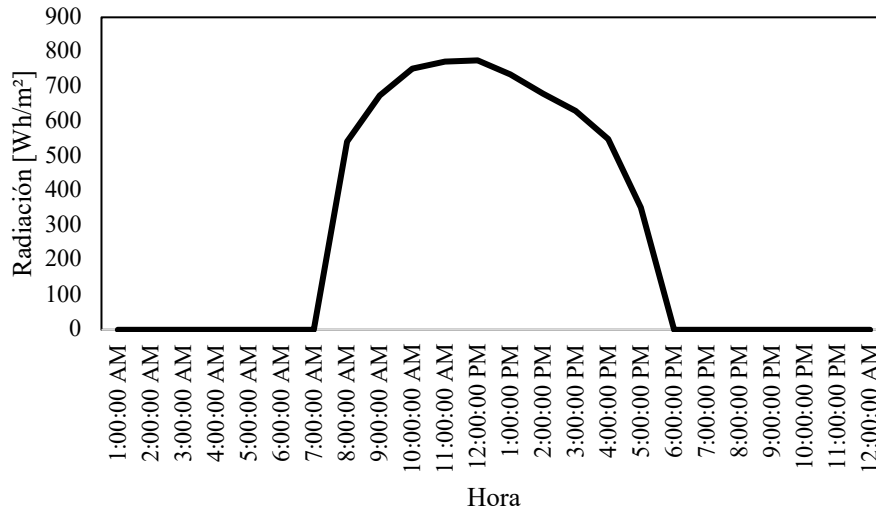


Ilustración 41 - Radiación promedio [Wh/m²] para el mes de diciembre en Amatitlán, Guatemala

Fuente: Global Solar Atlas

10.2. VOLUMEN DE AGUA

El volumen de agua irrigada se calculó mediante información brindada por encargados de Finca "El Rosario" y se obtuvieron los datos usando datos de precipitación en la zona analizada.

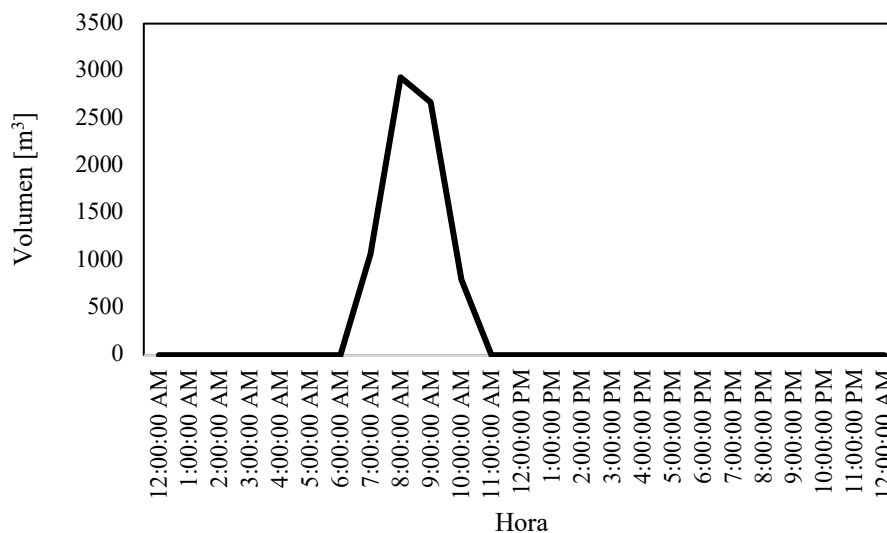


Ilustración 42 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de enero

Fuente: Elaboración Propia

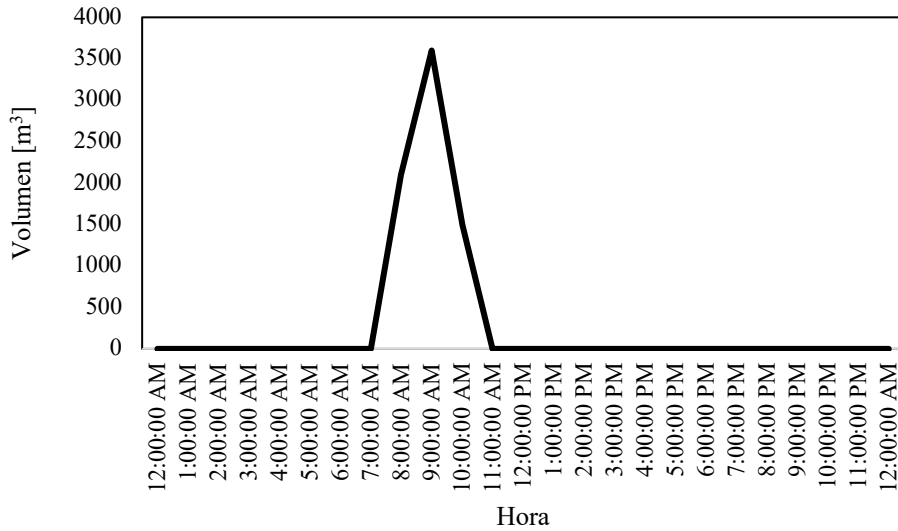


Ilustración 43 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de febrero

Fuente: Elaboración Propia

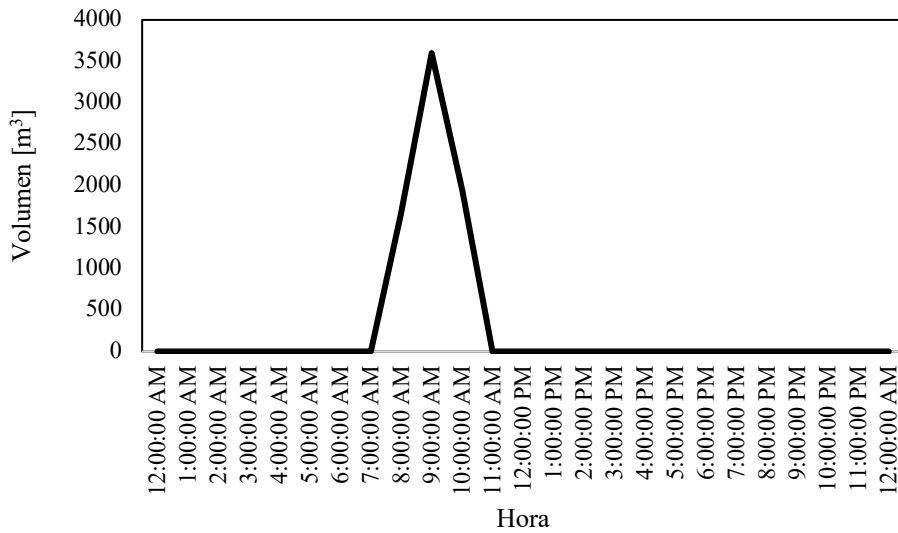


Ilustración 44 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de marzo

Fuente: Elaboración Propia

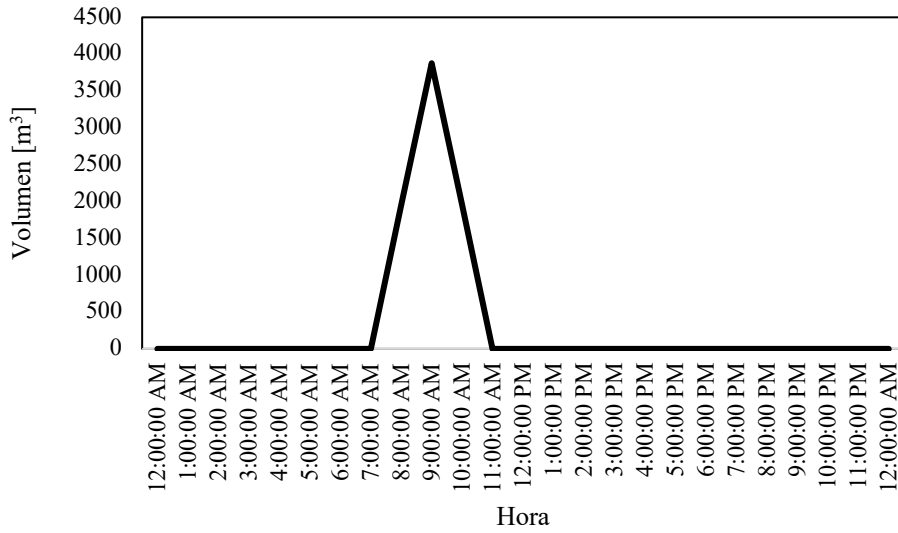


Ilustración 45 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de abril

Fuente: Elaboración Propia

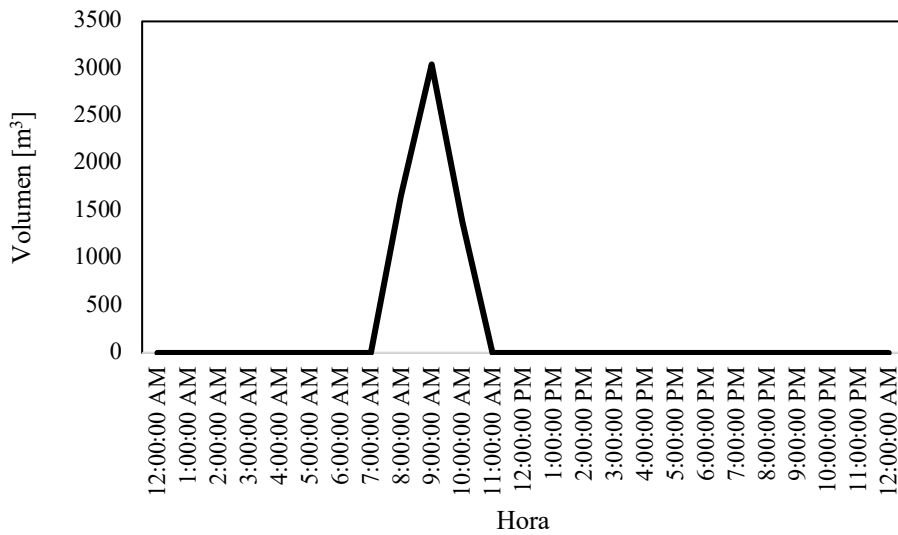


Ilustración 46 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de mayo

Fuente: Elaboración Propia

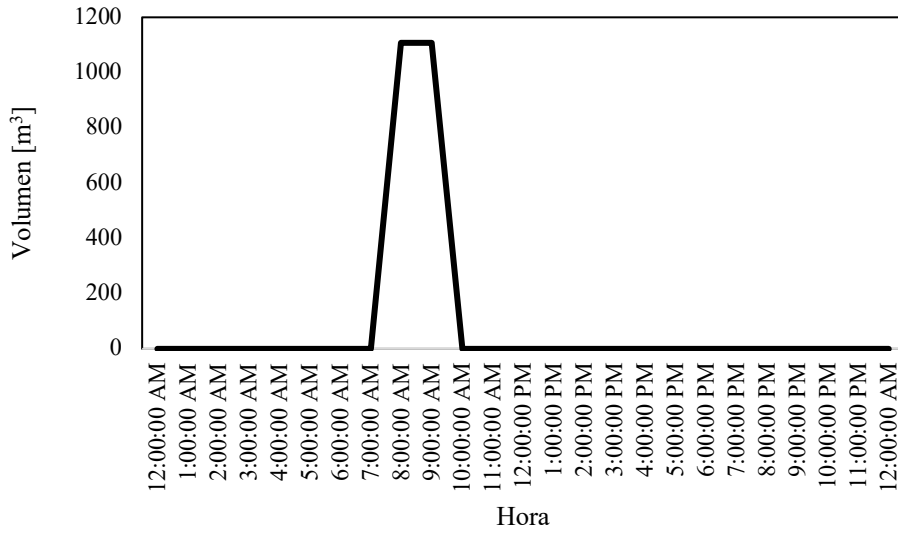


Ilustración 47 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de junio

Fuente: Elaboración Propia

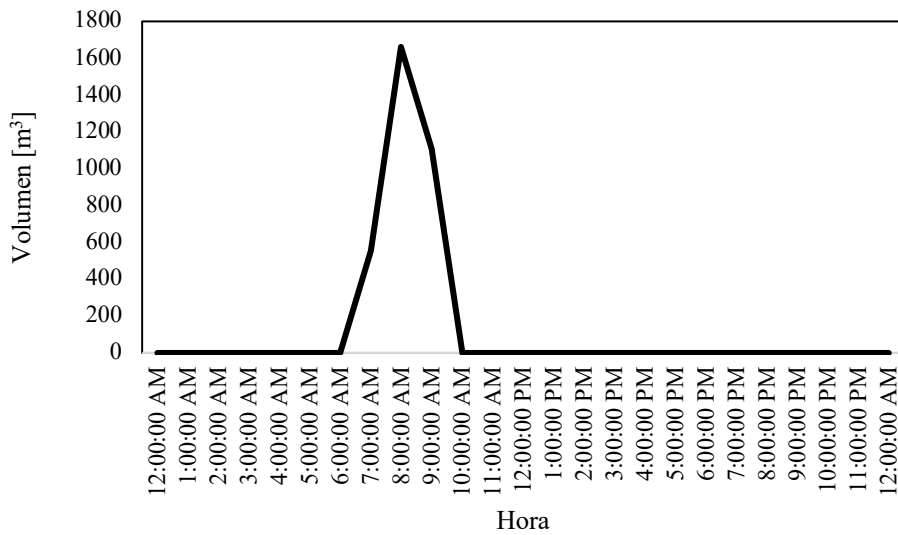


Ilustración 48 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de julio

Fuente: Elaboración Propia

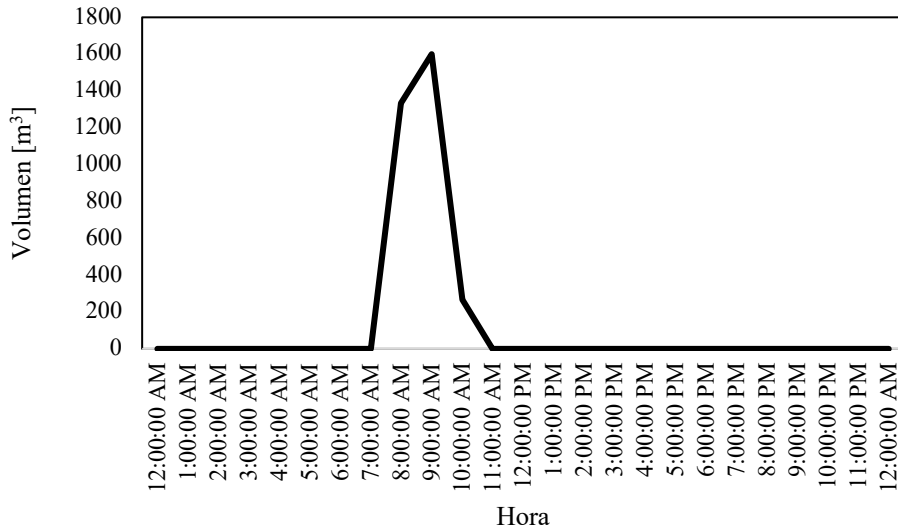


Ilustración 49 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de agosto

Fuente: Elaboración Propia

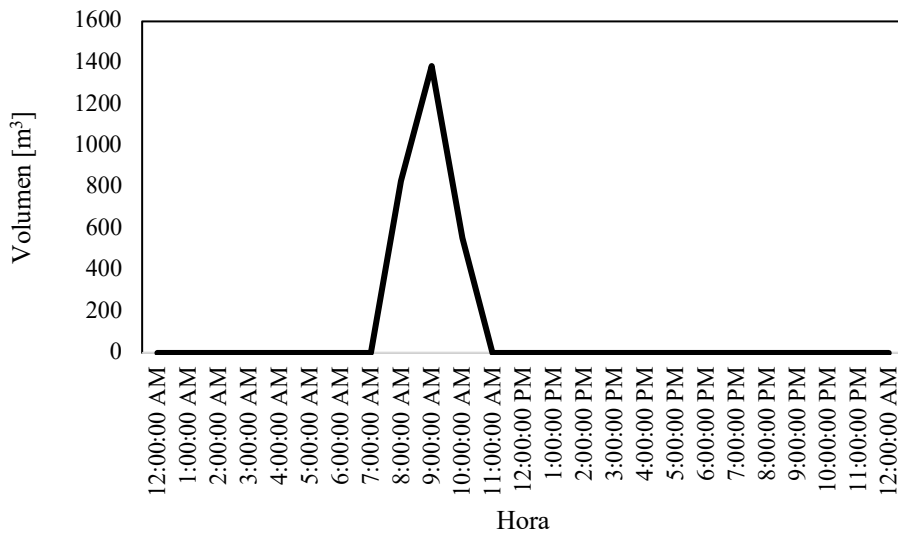


Ilustración 50 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de septiembre

Fuente: Elaboración Propia

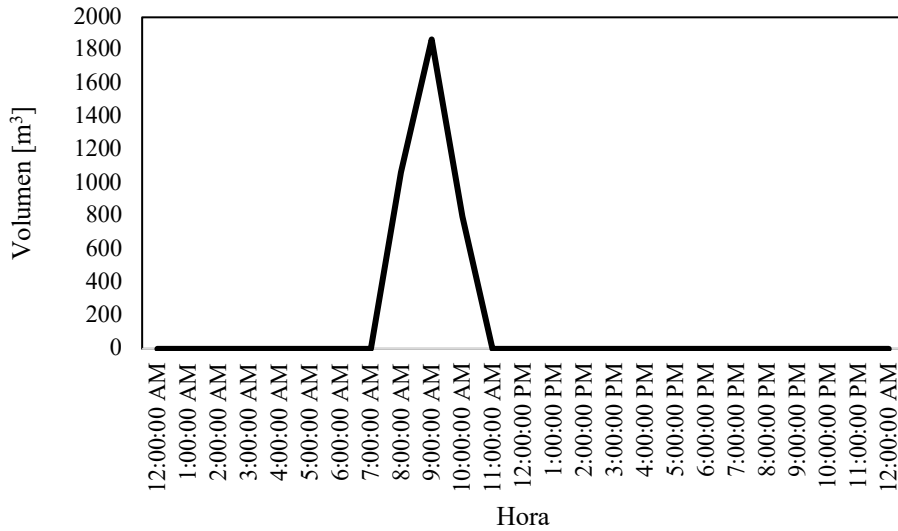


Ilustración 51 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de octubre

Fuente: Elaboración Propia

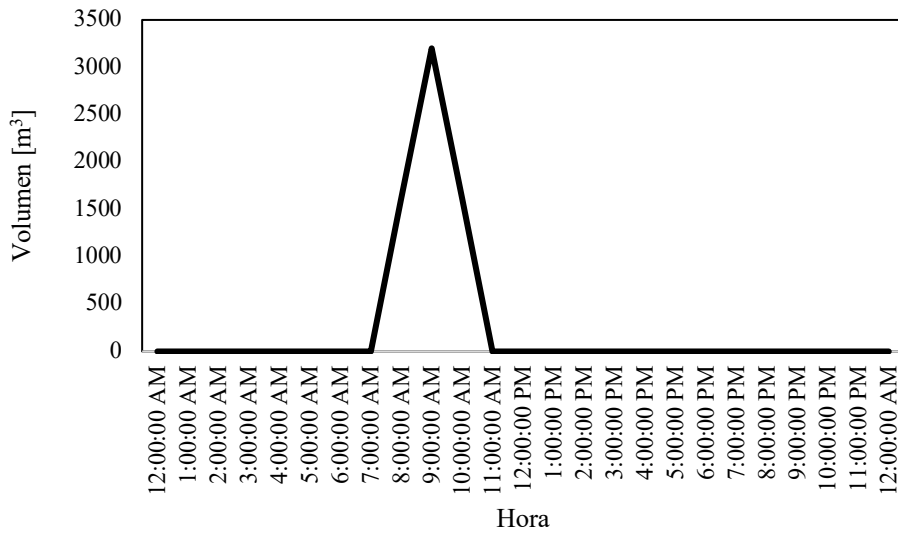


Ilustración 52 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de noviembre

Fuente: Elaboración Propia

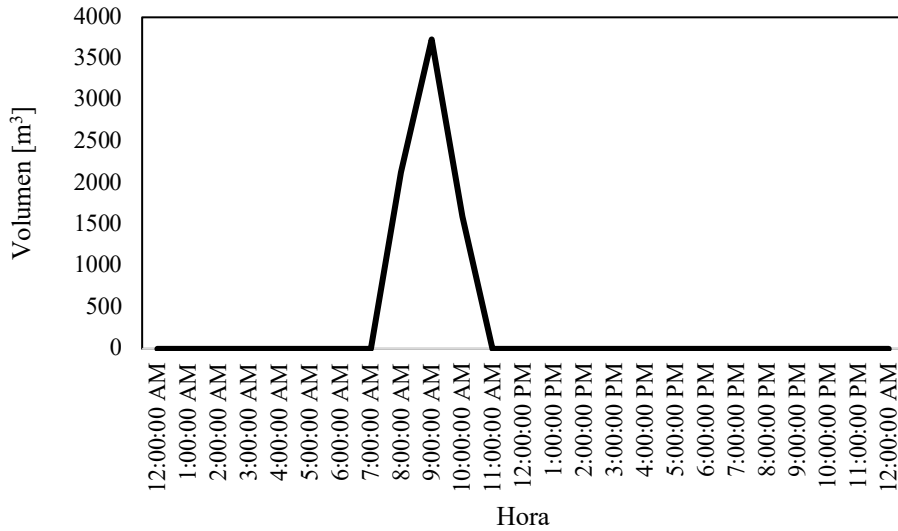


Ilustración 53 - Volumen de Agua irrigada [m³] en Finca "El Rosario] para el mes de diciembre

Fuente: Elaboración Propia

10.3. VOLUMEN DE AGUA VERSUS RADIACIÓN INCIDENTE

Conforme a los datos obtenidos de radiación y volumen de agua consumido mensualmente, se hizo una comparación de ambas gráficas.

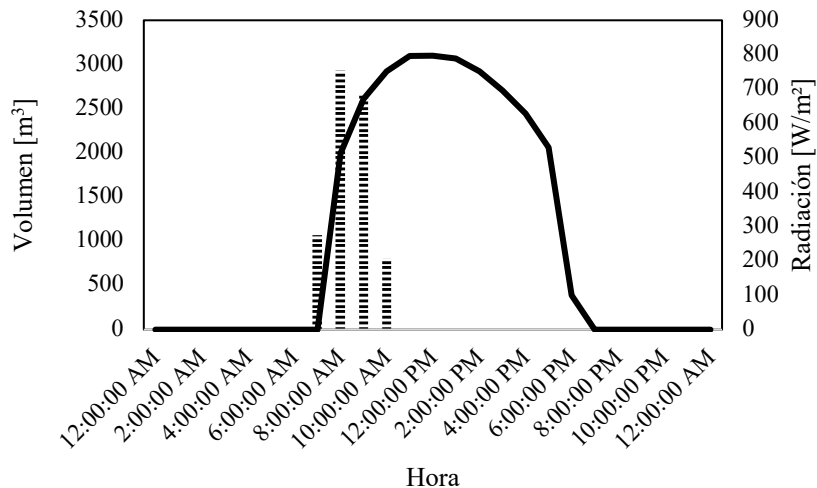


Ilustración 54 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m3] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de enero

Fuente: Elaboración propia

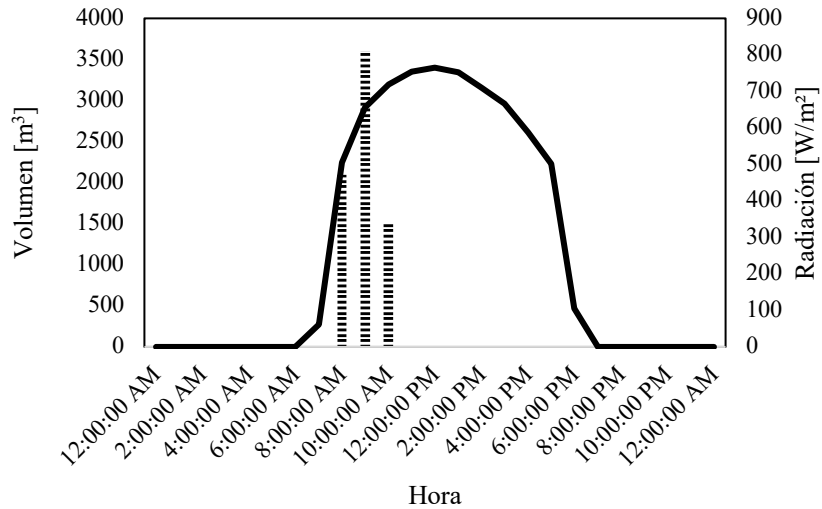


Ilustración 55 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de febrero

Fuente: Elaboración Propia

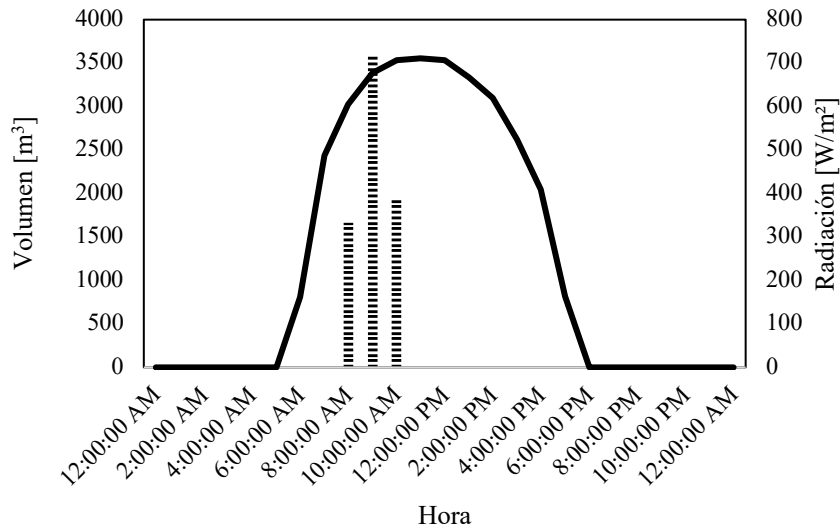


Ilustración 56 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de marzo

Fuente: Elaboración Propia

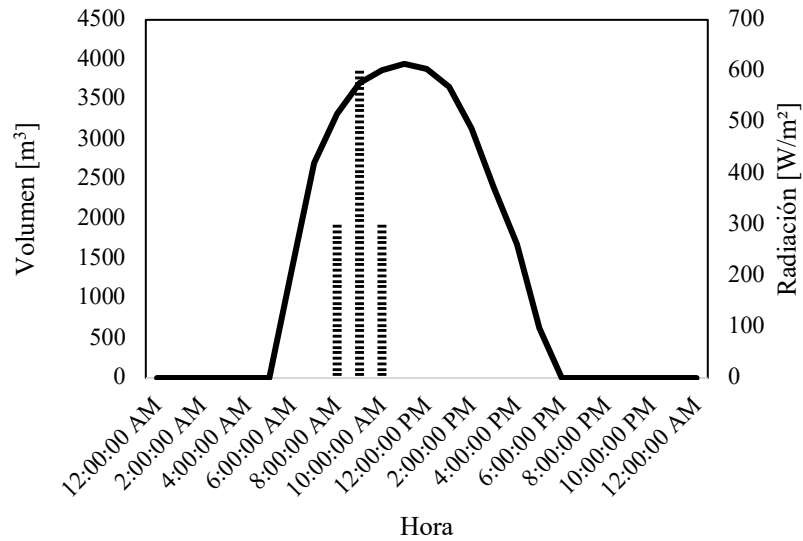


Ilustración 57 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m3] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de abril

Fuente: Elaboración Propia

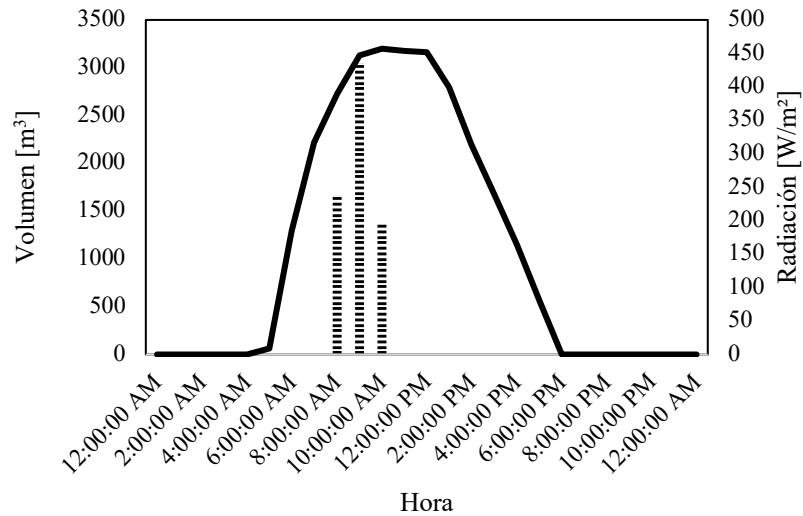


Ilustración 58 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m3] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de mayo

Fuente: Elaboración Propia

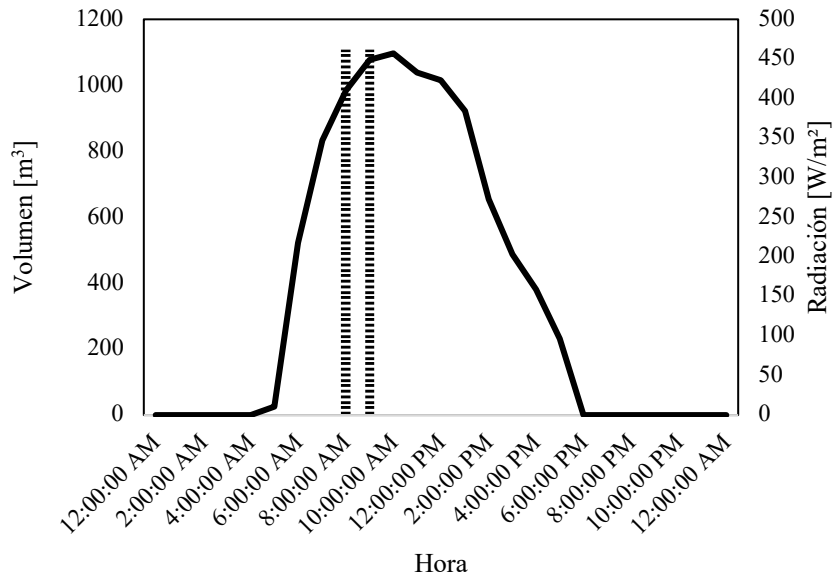


Ilustración 59 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de junio

Fuente: Elaboración Propia

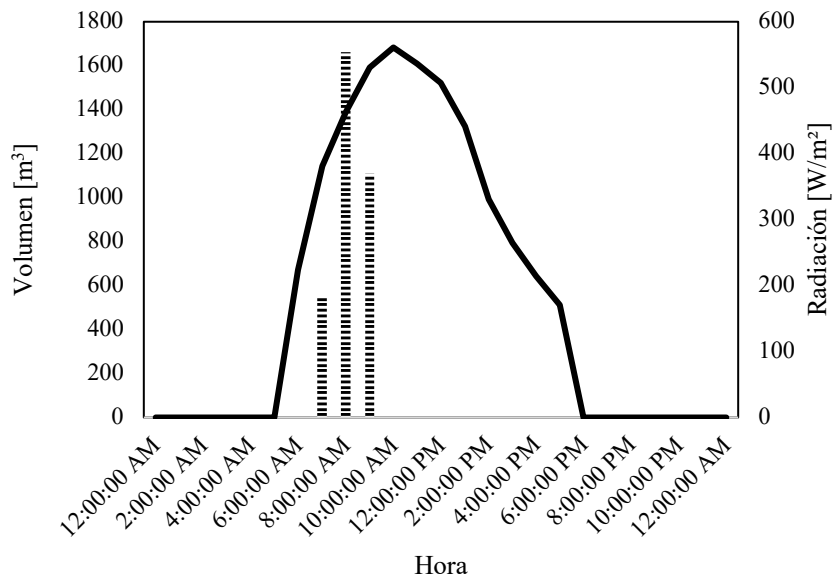


Ilustración 60 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de julio

Fuente: Elaboración Propia

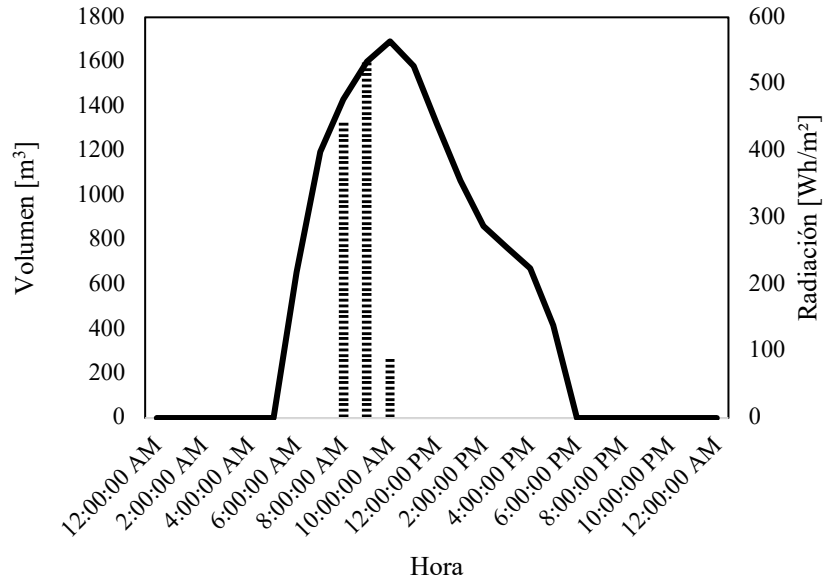


Ilustración 61 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de agosto

Fuente: Elaboración Propia

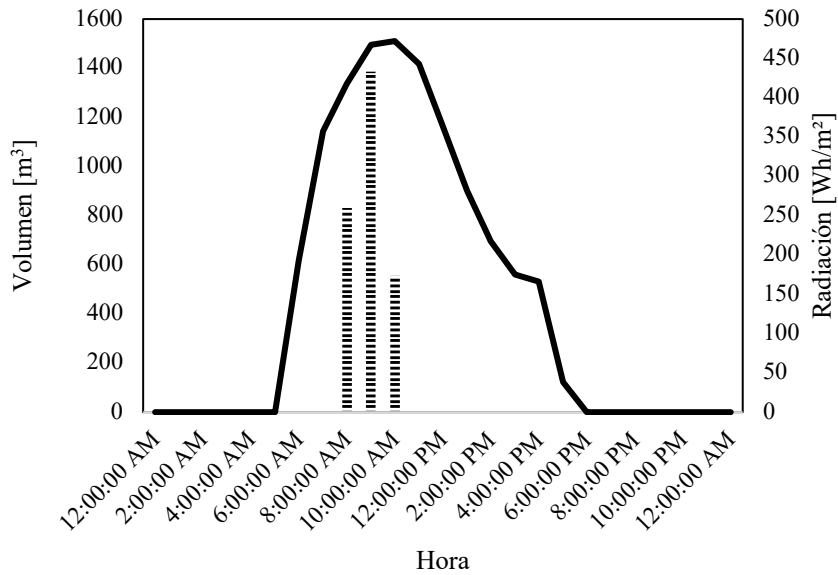


Ilustración 62 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de septiembre

Fuente: Elaboración Propia

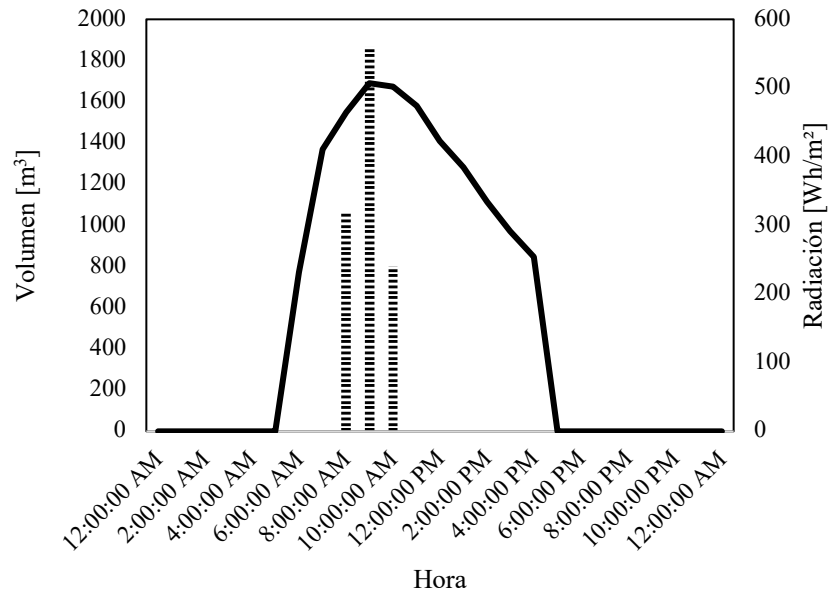


Ilustración 63 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de octubre

Fuente: Elaboración Propia

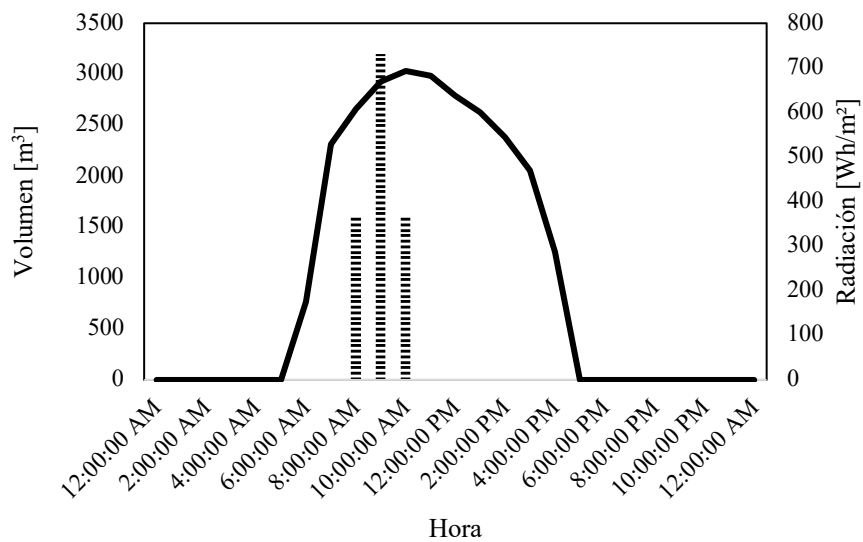


Ilustración 64 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de noviembre

Fuente: Elaboración Propia

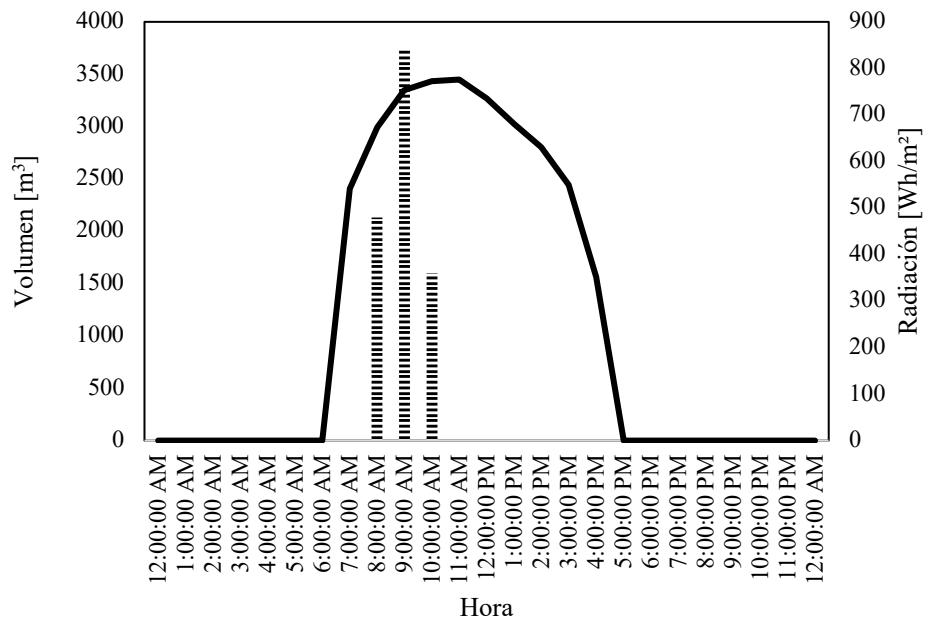


Ilustración 65 - Radiación promedio [Wh/m²] versus volumen de agua irrigado [m³] en Finca "El Rosario", Amatitlán, Guatemala en el mes de diciembre

Fuente: Elaboración Propia

10.4. SIMULACIÓN HELIOSCOPE

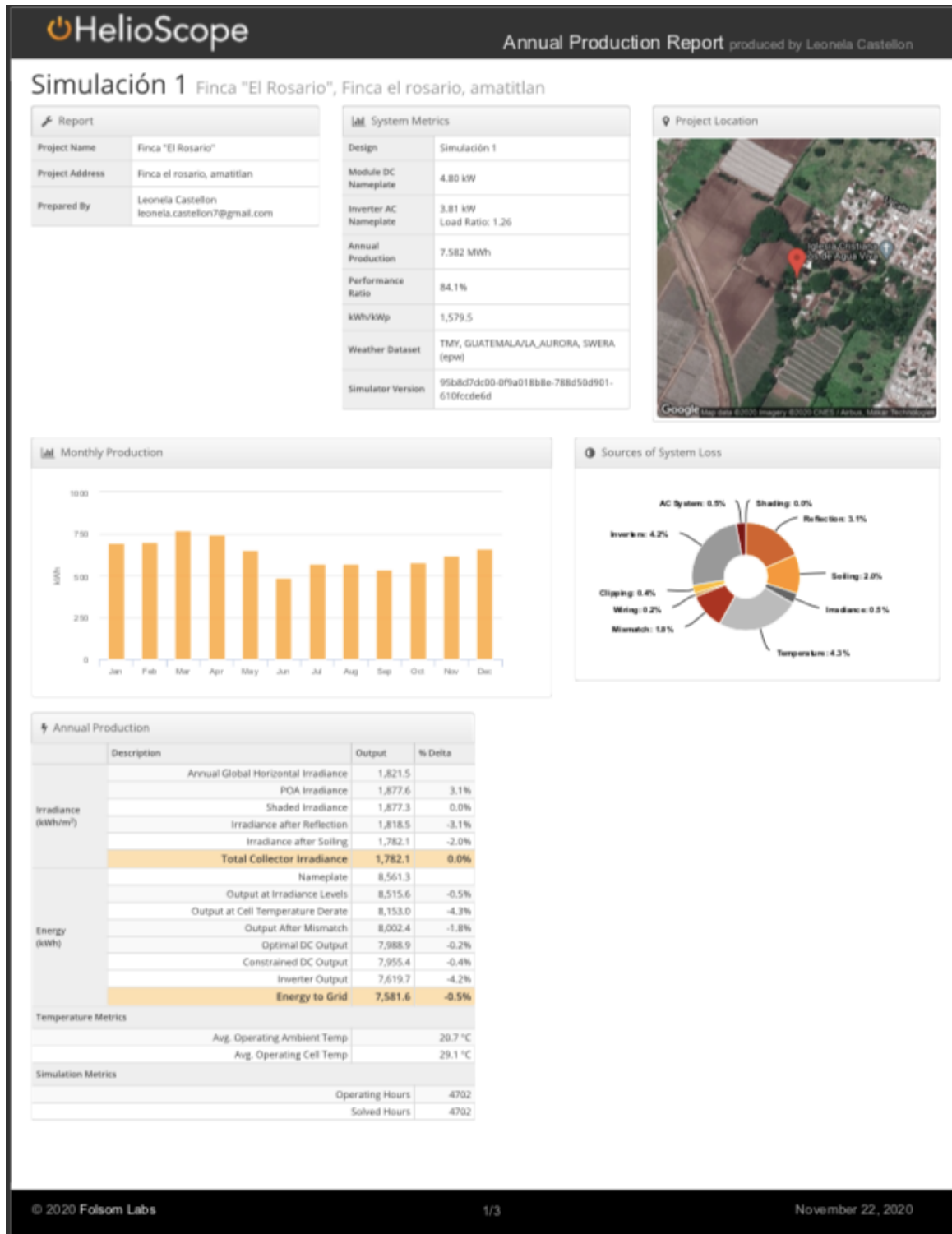



Ilustración 66 - Simulación Helioscope

Fuente: (Helioscope, 2020)

Continuación de Simulación Helioscope


Annual Production Report produced by Leonela Castellon

Condition Set

Description	Condition Set 2											
Weather Dataset	TMY, GUATEMALA/LA_AURORA, SWERA (epw)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0455	0°C								
	East-West	-3.56	-0.075	3°C								
	Carport	-3.56	-0.075	3°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Binning Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.50%											
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	CS6K-300MS (Canadian Solar)	Folsom Labs	Spec Sheet Characterization, PAN									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	CSI-4000TL-CT (208V) (Canadian Solar)	Folsom Labs	CEC 2014-08-16									

Components

Component	Name	Count
Inverters	CSI-4000TL-CT (208V) (Canadian Solar)	1 (3.81 kW)
Strings	10 AWG (Copper)	2 (12.7 ft)
Module	Canadian Solar, CS6K-300MS (300W)	16 (4.80 kW)

Wiring Zones

Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	7-14	Along Racking

Field Segments

Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	15°	209°	8.0 ft	4x1	4	16	4.80 kW

Ilustración 67 - Ficha técnica Helioscope

Fuente: (Helioscope, 2020)

10.5. SIMULACIÓN PVSYST

PVSYST 7.0.17		22/11/20		Página 1/3						
Sistema conectado a la red: Parámetros de simulación										
Proyecto : FINCA "EL ROSARIO"										
Sitio geográfico		Ingenio de Anis		País Guatemala						
Situación		Latitud	14.48° N	Longitud	-90.63° W					
Tiempo definido como		Hora Legal	Zona horaria UT-6	Altitud	1206 m					
		Albedo	0.20							
Datos meteo:		Ingenio de Anis Meteorom 7.3 (2000-2009), Sat=100% - Sintético								
Variante de simulación : Nueva variante de simulación										
		Fecha de simulación 22/11/20 01h32								
Parámetros de simulación		Tipo de sistema Sin escena 3D definida, sin sombras								
Orientación plano de colector		Inclinación	15°	Azimut	29°					
Modelos usados		Transposición	Perez	Difuso Circunsolar	Perez, Meteorom separado					
Horizonte		Horizonte libre								
Sombreados cercanos		Sin sombreados								
Necesidades del usuario :		Carga ilimitada (red)								
Características del conjunto FV										
Módulo FV		Si-mono	Modelo	CS6K - 300MS						
Base de datos PVsyst original		Fabricante		Generic						
Número de módulos FV		En serie		4 módulos	En paralelo 4 cadenas					
Número total de módulos FV		núm. de módulos	16	Unidad Nom. Potencia	300 Wp					
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	4800 Wp	En cond. de funcionam.	4336 Wp (50°C)					
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	116 V	I mpp	37 A					
Área total		Área del módulo	26.2 m²	Área celular	23.5 m²					
Inversor		Modelo		CSI-4KTL1P-GI-FL						
Base de datos PVsyst original		Fabricante		Generic						
Características		Unidad Nom. Potencia	4.00 kWca	Voltaje de funcion.	90-520 V					
Paquete de inversores		Potencia total	4.0 kWca	Proporción Pnom	1.20					
		Núm. de inversores	2 * MPPT 50%							
Total		Potencia total	4 kWca	Proporción Pnom	1.20					
Factores de pérdida del conjunto FV										
Factor de pérdida térmica		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s					
Pérdida óhmica en el cableado		Res. conjunto global	52 mΩ	Fracción de pérdida	1.5 % en STC					
LID - Degradación Inducida por Luz				Fracción de pérdida	1.4 %					
Pérdida de calidad módulo				Fracción de pérdida	-0.4 %					
Pérdidas de desajuste de módulo				Fracción de pérdida	2.0 % en MPP					
Pérdidas de desajuste de cadenas				Fracción de pérdida	0.10 %					
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario										
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
		0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

PVsyst Evaluation mode

Traducción singularia. Solo el texto en inglés es la referencia.

Ilustración 68 - Simulación PVsyst

Fuente: (PVsyst, 2020)

Sistema conectado a la red: Resultados principales

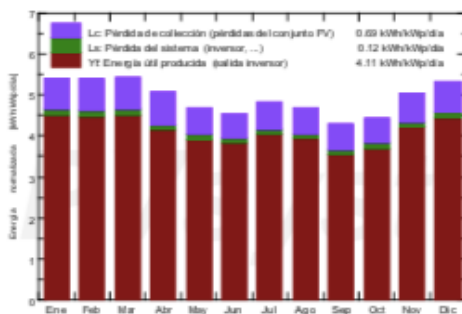
Proyecto : **FINCA "EL ROSARIO"**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

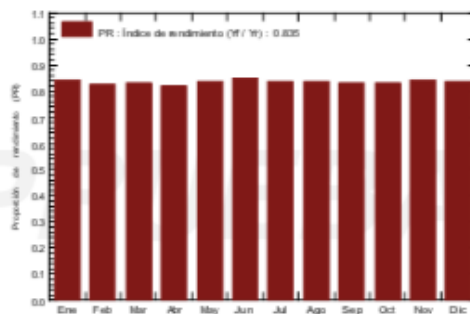
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	
Orientación campo FV	inclinación	15°	azimut 29°
Módulos FV	Modelo	CS6K - 300MS	Pnom 300 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	16	Pnom total 4800 Wp
Inversor	Modelo	CSI-4KTL1P-GI-FL	Pnom 4000 W ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

Resultados principales de simulación			
Producción del sistema	Energía producida	7.20 MWh/año	Prod. específica 1501 kWh/kWp/año
	Proporción de rendimiento (PR)	83.49 %	

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 4800 Wp



Proporción de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación
Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	proporción
Enero	148.2	59.31	17.66	166.7	163.5	0.692	0.673	0.841
Febrero	140.4	54.24	18.58	151.4	148.5	0.619	0.602	0.828
Marzo	164.0	80.44	19.75	168.7	165.3	0.692	0.673	0.832
Abril	154.8	62.45	20.94	152.0	149.1	0.615	0.598	0.819
Mayo	153.4	79.70	21.12	145.5	142.1	0.600	0.584	0.836
Junio	145.9	80.37	20.21	135.8	132.7	0.568	0.552	0.847
Julio	159.0	72.13	20.48	149.2	146.0	0.618	0.600	0.838
Agosto	151.7	74.15	20.57	145.8	142.7	0.603	0.586	0.837
Septiembre	129.2	66.49	20.00	128.8	126.0	0.529	0.514	0.831
Octubre	133.0	65.31	19.77	138.1	135.2	0.568	0.552	0.833
Noviembre	135.5	58.55	18.17	150.8	148.0	0.626	0.609	0.841
Diciembre	144.1	55.06	18.21	164.7	161.6	0.680	0.661	0.837
Año	1759.1	808.21	19.63	1797.3	1760.7	7.410	7.203	0.835

Leyendas: GlobHor Irradiación horizontal global GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 DiffHor Irradiación difusa horizontal EArray Energía efectiva a la salida del conjunto
 T_Amb T amb. E_Grid Energía inyectada en la red
 GlobInc Global incidente plano receptor PR Proporción de rendimiento

Ilustración 69 - Resultados PVsyst

Fuente: (PVsyst, 2020)

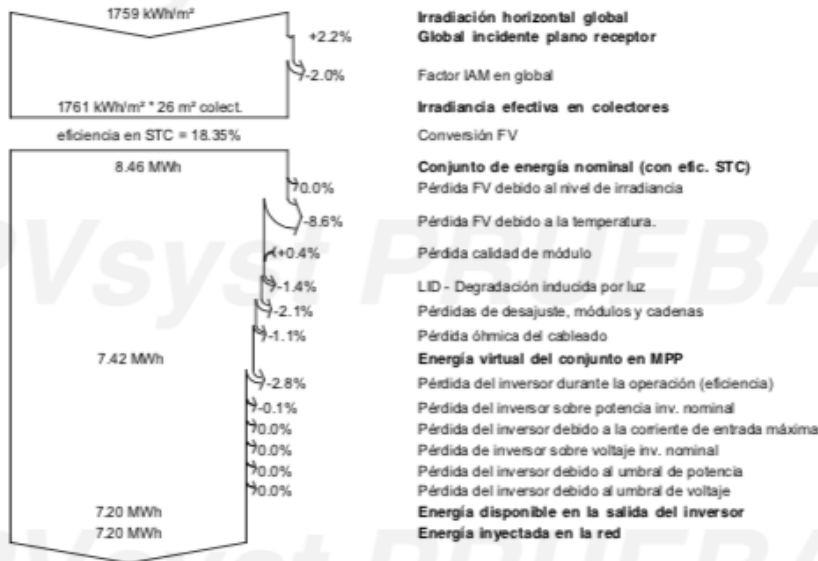
Sistema conectado a la red: Diagrama de pérdida

Proyecto : **FINCA "EL ROSARIO"**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras		
Orientación campo FV	inclinación	15°	azimut	29°
Módulos FV	Modelo	CS6K - 300MS	Pnom	300 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	16	Pnom total	4800 Wp
Inversor	Modelo	CSI-4KTL1P-GI-FL	Pnom	4000 W ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsys Evaluation mode

Traducción sin garantía. Solo el texto en inglés es la referencia.

Ilustración 70 - Diagrama de Pérdidas PVsyst

Fuente: (PVsyst, 2020)

10.6. EMISIONES CO₂

La condición actual de emisiones en kilogramos de Dióxido de Carbono en el consumo anual de energía de 7880.8 [kWh] en Finca "El Rosario" es de 4163.45 [kgCO₂].

Emisiones mensuales de kgCO₂ en Finca "El Rosario"

MES	Energía [kWh]	Emisiones [kgCO ₂ /kWh]	Emisiones [kgCO ₂]
ENE	687.2	0.528	363.040835
FEB	672.3	0.528	355.161769
MAR	679.7	0.528	359.101302
ABR	687.2	0.528	363.040835
MAY	664.8	0.528	351.222236
JUN	612.6	0.528	323.645504
JUL	635.0	0.528	335.464103
AGO	627.5	0.528	331.52457
SEP	620.1	0.528	327.585037
OCT	635.0	0.528	335.464103
NOV	672.3	0.528	355.161769
DIC	687.2	0.528	363.040835
TOTAL	7880.8	0.528	4163.4529

Fuente: Elaboración Propia

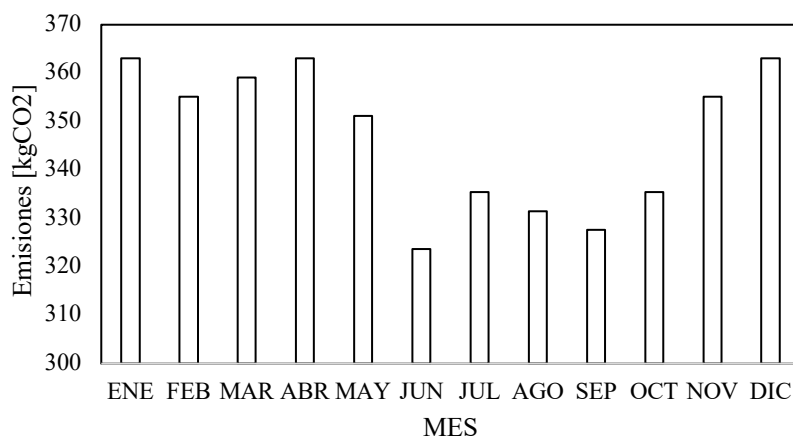


Ilustración 71 Emisiones Mensuales de [kgCO₂] Condición Actual de Finca "El Rosario"

Fuente: Elaboración Propia

Las emisiones en [kgCO₂] con la instalación de el sistema solar fotovoltaico es de 127.08 [kgCO₂], esto tomando en cuenta la compensación de energía eléctrica que se generaría al realizar el proyecto.

Emisiones Mensuales de [kgCO₂] con el sistema solar fotovoltaico de Finca "El Rosario"

MES	Energía [kWh]	Emisiones [kgCO ₂ /kWh]	Emisiones [kgCO ₂]
ENE	0.0	0.528	0
FEB	0.0	0.528	0
MAR	0.0	0.528	0
ABR	0.0	0.528	0
MAY	10.7	0.528	5.66120574
JUN	125.1	0.528	66.099254
JUL	59.6	0.528	31.4802833
AGO	53.2	0.528	28.1218802
SEP	82.4	0.528	43.5181271
OCT	51.5	0.528	27.2010533
NOV	49.5	0.528	26.1365288
DIC	25.2	0.528	13.306235
TOTAL	240.5	0.528	127.082409

Fuente: Elaboración Propia

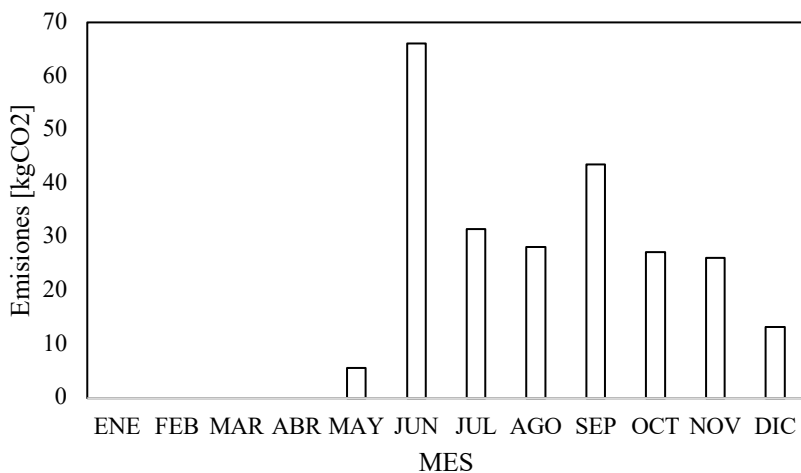


Ilustración 72 Emisiones Mensuales de [kgCO₂] con el Sistema Solar Fotovoltaico de Finca "El Rosario"

Fuente: Elaboración Propia