

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

**Estudio de prefactibilidad de un Sistema de Riego a Base de Energías Renovables
Eólica-Fotovoltaica Aplicable en la Parroquia de Sumaypamba Cantón de Saraguro**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Ambiental


Autores:

María José Cabrera Salazar

Andrea Melissa Peña Berrezueta

Tutor:

Iván Andrés Montero Izquierdo

ORCID:  0000-0001-5366-8029

Cuenca, Ecuador

2023-04-13

Resumen

El uso de energías convencionales conduce a un aumento de CO₂ en la atmósfera, por ende, el objetivo del proyecto tiene como propósito realizar un estudio de la prefactibilidad de un sistema de riego a base de energías renovables aplicable en la parroquia de Sumaypamba perteneciente al cantón de Saraguro y, por consiguiente, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se analizó la información meteorológica de la zona de estudio, permitieron conocer los elementos que se van a usar en el sistema de riego. Considerando que el recurso eólico no cumple las condiciones óptimas, por lo que dispone una velocidad de viento promedio de 2.9m/s a una altura de 15m, siendo insuficiente para la funcionalidad del aerogenerador. Sin embargo, la radiación solar permite generar electricidad mediante un sistema fotovoltaico. Para el análisis y la evaluación del comportamiento del sistema se emplea el software HOMER Pro, mismo que permite diseñar, modelar y optimizar sistemas basados en energías renovables. Los resultados fueron suficiente para cubrir la demanda prevista. La parte económica estimó un costo de implementación para el sistema de \$2425. Para la parte ambiental se centró en la reducción de las emisiones de CO₂, estimando que el sistema de bombeo a partir de motobomba con combustible aporta 120 kg de CO₂ al año, reduciendo las emisiones al 100%. Además, se analizó los Objetivos de Desarrollo Sostenible, contribuyendo a 6 ODS de la agenda 2030, con lo que esta propuesta permitirá a Elecaastro S.A. fortalecer su presencia en la zona y sus programas de gestión social y ambiental.

Palabras clave: homer pro, riego, prefactibilidad, fotovoltaica, eólica

Abstract

The use of conventional energy leads to an increase of CO₂ in the atmosphere; therefore, the objective of the project is to conduct a pre-feasibility study of an irrigation system based on renewable energy applicable in the parish of Sumaypamba belonging to the canton of Saraguro and, consequently, reduce greenhouse gas emissions. Meteorological information of the study area was analyzed, allowing to know the elements to be used in the irrigation system. Considering that the wind resource does not meet the optimal conditions, which has an average wind speed of 2.9 m/s at a height of 15m, which is insufficient for the functionality of the wind turbine. However, solar radiation can generate electricity through a photovoltaic system. For the analysis and evaluation of the system behavior, the HOMER Pro software was used, which allows the design, modeling and optimization of systems based on renewable energies. The results were sufficient to cover the expected demand. The economic part estimated an implementation cost for the system of \$2425. The environmental part focused on the reduction of CO₂ emissions, estimating that the pumping system using a motor pump with fuel contributes 120 kg of CO₂ per year, reducing emissions to 100%. In addition, the Sustainable Development Goals were analyzed, contributing to 6 SDGs of the 2030 agenda, with which this proposal will allow Elecaastro S.A. to strengthen its presence in the area and its social and environmental management programs.

Keywords: homer, irrigation, prefeasibility, photovoltaic, wind

Índice de contenidos

Resumen	2
Abstract.....	3
Índice de contenidos	4
Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	10
Capítulo 1: Generalidades	15
1.1. Introducción	15
1.2 Justificación	15
1.3. Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
1.4. Alcance	17
1.5. Antecedentes	18
Capítulo 2: Marco Teórico	22
2.1. Fuentes Convencionales de Energía	22
2.1.1. Clasificación de energías convencionales	23
2.1.1.1. Gas Natural	23
2.1.1.2. Petróleo	24
2.1.1.3. Carbón	24
2.2. Energías Renovables	24
2.3.1. Convencionales	26
2.3.1.1. Energía Hidroeléctrica	26
2.3.2. No Convencionales	27
2.3.2.1. Energía solar	27
2.3.2.1.1. Radiación solar	29
2.3.2.1.2. Panel fotovoltaico	29
2.3.2.2. Energía eólica	31
2.3.2.2.1. Aerogeneradores	32
2.5. Sistemas de Bombeo	35

2.6. Avance Tecnológico de Sistemas de Bombeo	36
2.6.1. Software de Modelamiento	36
2.6.2. HOMER Pro	36
2.6.4. Modelo de software similares a HOMER	39
2.7. Regulaciones y Normativas Vigentes de Energías Renovables en el Ecuador	39
Capítulo 3: Suelo	43
3.1. Clasificación de suelo	43
3.1.1. Taxonomía del suelo	43
3.1.2. Suelos en el Ecuador	45
3.1.2.1. Suelos de la Provincia de Loja	46
3.1.3. Suelos Sumaypamba	47
3.1.4. Tipos de suelos	49
3.1.5. Cultivos en la zona de estudio	51
3.2. Cobertura Vegetal de Sumaypamba	52
3.3. Estimación de la cantidad de agua requerida	53
3.3.1. Demanda Hídrica	53
3.3.1.1. Evapotranspiración (ET)	54
3.3.1.2. Evapotranspiración de referencia (ET _o)	54
3.3.1.3. Modelo de Penman-Monteith (P-M)	55
3.3.2. Coeficiente de cultivos referencial (K _c)	56
3.3.2.1. Duración de las etapas de crecimiento del cultivo	57
3.3.3. Demanda hídrica de los cultivos (ET _c)	58
3.3.4 Estación Meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)	60
3.3.4.1 Datos INAMHI Precipitación	61
3.4. Reservorio	63
3.4.1. Datos del reservorio	63
3.4.1.1. Volumen del Reservorio	63
3.4.1.2. Ubicación del Reservorio	63
Capítulo 4: Análisis de Datos Meteorológicos	65
4.1 Localización del Área de Estudio	65
4.2. Tipo de estación	66

4.1.1. Datos meteorológicos.....	66
4.1.2. Sensores utilizados en la estación meteorológica de San Sebastián de Yúluc	67
4.1.3. Estándares de medición	68
4.2. Datos proporcionados ELECAUSTRO.	70
4.2.1. Parámetros Analizados	75
4.2.1.1 Velocidad del viento	75
4.2.1.2. Temperatura ambiente	76
4.2.1.3 Radiación solar	76
4.3 Análisis del comportamiento de las variables meteorológicas en la zona de estudio	77
4.3.1 Radiación Solar	77
4.3.2. Velocidad del viento	78
4.3.2.1 Ley Exponencial de Hellmann	79
4.3.2.2 Análisis de la Distribución de Weibull	82
4.4. Recursos Analizados para un sistema de bombeo con energías fotovoltaica / eólica.....	86
4.4.1. Sistema de bombeo	87
4.4.2 Viento.....	90
4.4.2.1 Producción de Energía Eólica	90
4.4.3 Radiación Solar	94
4.4.3.1 Producción de Energía Fotovoltaica	94
4.4.3.1.1 Configuración del sistema fotovoltaico.....	94
4.4.2.1.2 Potencia máxima instalable Fotovoltaica.....	95
4.4.2.1.3Panel Solar Monocristalino	97
4.4.2.1.5 Batería de gel de ciclo profundo	98
Capítulo 5: Modelado del Sistema de Riego	102
5.1. Parámetros para un sistema de riego con uso de combustibles fósiles.....	102
5.2. Parámetros HOMER Pro.....	104
5.3. Diagrama de flujo de trabajo de HOMER Pro.....	104
5.4. Sitio de estudio.....	106
5.5. Modelamiento HOMER Pro Fotovoltaica.....	107
5.6 Resultados HOMER Pro	119

Capítulo 6: Resultados y discusión	125
6.1. Análisis de los Resultados de HOMER Pro	125
6.2. Resultados y discusión	126
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones	131
7.1 Conclusiones	131
7.1.1 Conclusión General	131
7.1.1.2. Conclusiones específicas	131
7.2. Recomendaciones	133
Referencias bibliográficas	134
Anexos.....	146

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa Solar del Ecuador</i>	20
Figura 2 <i>Atlas eólico del Ecuador</i>	21
Figura 3 <i>Clasificación de energías convencionales</i>	23
Figura 4 <i>Clasificación de Energías Renovables</i>	25
Figura 5 <i>Centrales hidroeléctricas del Ecuador</i>	27
Figura 6 <i>Sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos</i>	28
Figura 7 <i>Tipos de Radiación</i>	29
Figura 8 <i>Componentes de un FV</i>	30
Figura 9 <i>Tendencias de generación de electricidad</i>	32
Figura 10 <i>Funcionamiento de la energía eólica</i>	33
Figura 11 <i>Sistema de energía eólica en zonas para cultivos</i>	34
Figura 12 <i>Aplicación HOMER Pro</i>	37
Figura 13 <i>Aspectos que presentan los suelos según la clasificación Soil Taxonomy</i>	44
Figura 14 <i>Mapa de usos de suelos de la parroquia de Sumaypamba</i>	48
Figura 15 <i>Mapa tipos de suelos de la parroquia de Sumaypamba</i>	50
Figura 16 <i>Mapa Cobertura Vegetal de la parroquia de Sumaypamba</i>	53
Figura 17 <i>Desarrollo de la planta en las 5 etapas establecidas</i>	58
Figura 18 <i>Punto de estudio y el de la estación meteorológica M 081 - Uzhcurrumi Pasaje</i>	60
Figura 19 <i>Ubicación de Reservoirio</i>	64
Figura 20 <i>Mapa de ubicación del área de estudio</i>	66
Figura 21 <i>Anemómetro de cazoletas y la veleta</i>	75
Figura 22 <i>Radiación solar que llega a la superficie de la Tierra</i>	76
Figura 23 <i>Curvas diarias anuales de radiación</i>	78
Figura 24 <i>Curvas diarias anuales velocidad del viento</i>	79
Figura 25 <i>Gráficas de la Distribución de Weibull para los años 2018,2019,2020 y 2021</i>	86
Figura 26 <i>Ubicación de Reservoirio</i>	88
Figura 27 <i>Diagrama de instalación solar</i>	90
Figura 28 <i>Curva de potencia vs velocidad del viento</i>	93
Figura 29 <i>Batería Proviento GEL</i>	98
Figura 30 <i>Diagrama del cálculo de baterías</i>	99
Figura 31 <i>Controlador MORNINGSTAR TriStar 60</i>	100
Figura 32 <i>Diagrama de flujo de trabajo de HOMER Pro</i>	105
Figura 33 <i>Gráfico del sitio de estudio</i>	106
Figura 34 <i>Paso 1: Colocar el título del proyecto y agregar la tasa de descuento</i>	107
Figura 35 <i>Paso 1: Selecciona la ubicación geográfica</i>	108
Figura 36 <i>Paso 2: Añadir, verificar y editar el perfil</i>	109
Figura 37 <i>Paso 3: Verificar y editar el perfil de carga</i>	109
Figura 38 <i>Paso 4: Añadir recurso de energía</i>	110
Figura 39 <i>Paso 5: Agregar recurso de energía renovable</i>	111
Figura 40 <i>Paso 6: Agregar sistema de almacenamiento</i>	111
Figura 41 <i>Paso 7: Agregar casos de sensibilidad</i>	112

Figura 42 Paso 7: Modelamiento de los datos Ingresados	113
Figura 43 Paso 8: Diagrama de sistema propuesto.....	114
Figura 44 Paso 10: Componente PV.....	117
Figura 45 Paso 11: Componente Storage	118
Figura 46 Paso 12: Componentes del Controlador.....	118
Figura 47 Paso 13: Resultados de optimización y casos de sensibilidad.....	119
Figura 48 Flujo de efectivo	121

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de la Taxonómica de Suelos</i>	44
Tabla 2 <i>Tipos suelo en la parroquia de Sumaypamba</i>	49
Tabla 3 <i>Producción agrícola en la parroquia de Sumaypamba</i>	51
Tabla 4 <i>ETo promedio para diferentes regiones agroclimáticas es de mm/día E</i>	55
Tabla 5 <i>Coefficientes de Cultivos Referenciales predominantes en la zona de estudio</i>	56
Tabla 6 <i>Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)</i>	57
Tabla 7 <i>Promedio de En el suelo de la zona de estudio en diferentes etapas del cultivo al día</i> 58	
Tabla 8 <i>Promedio de E el suelo de la zona de estudio en diferentes etapas del cultivo mensual</i>	59
Tabla 9 <i>Precipitación promedio desde el año 2000 a 2015</i>	61
Tabla 10 <i>Demanda Hídrica Real</i>	62
Tabla 11 <i>Coordenadas del sitio propuesto para el reservorio</i>	63
Tabla 12 <i>Especificaciones de datos meteorológicos</i>	66
Tabla 13 <i>Tipo de sensores en los canales de la estación de Yúluc</i>	67
Tabla 14 <i>Datos proporcionados por ELECAUSTRO, velocidad del viento</i>	69
Tabla 15 <i>Datos proporcionados por ELECAUSTRO, temperatura ambiente</i>	69
Tabla 16 <i>Datos proporcionados por ELECAUSTRO, radiación solar</i>	70
Tabla 17 <i>Valores promedio de cada sensor del año 2018</i>	71
Tabla 18 <i>Promedio de cada sensor del año 2019</i>	72
Tabla 19 <i>Promedio de cada sensor del año 2020</i>	73
Tabla 20 <i>Promedio de cada sensor del año 2021</i>	74
Tabla 21 <i>Datos de radiación solar (W/m^2)</i>	77
Tabla 22 <i>Recursos de velocidad del viento</i>	78
Tabla 23 <i>Valores del Exponente de Hellmann en función de la rigurosidad del Terreno</i>	80
Tabla 24 <i>Promedio mensual de la Velocidad del Viento aplicando la Ley de Hellmann para los años 2018, 2019, 2020 y 2021</i>	81
Tabla 25 <i>Factor de Forma</i>	84
Tabla 26 <i>Factor Escala</i>	84
Tabla 27 <i>Frecuencia de velocidad de viento en la variable establecida</i>	85
Tabla 28 <i>Catálogo Electrobomba Solar</i>	89
Tabla 29 <i>Datos Técnicos del Aerogenerador de 400W</i>	92
Tabla 30 <i>Datos fotovoltaicos</i>	95
Tabla 31 <i>Cálculo de paneles fotovoltaicos</i>	96
Tabla 32 <i>Paneles solares considerados para el diseño del sistema</i>	97
Tabla 33 <i>Cálculo de baterías</i>	98
Tabla 34 <i>Características del Controlador</i>	100
Tabla 35 <i>Costos asociados al sistema de riego por motobomba alimentada por combustible fósil</i>	103
Tabla 36 <i>Datos de irradiancia solar de la zona de estudio</i>	115
Tabla 37 <i>Datos de temperatura ambiente de la zona a estudiar</i>	116

Tabla 38 *Costo Total*120
Tabla 39 *Producción eléctrica*.....122
Tabla 40 *Panel Fotovoltaico*123
Tabla 41 *Resultados del modelamiento caso real y caso optimización*.....126

Agradecimientos

En primer lugar, damos gracias a Dios por guiarnos y obsequiarnos sabiduría a lo largo de este camino, por ser nuestra fortaleza y llevarnos de la mano para tomar buenas decisiones. Asimismo, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a nuestro director de tesis Ing. Andrés Montero quien con sus conocimientos nos han guiado con absoluta paciencia, dedicación y sobre todo por motivarnos a alcanzar los resultados esperados. Queremos expresar nuestro agradecimiento a la empresa Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A. por ser los auspiciantes de este proyecto y a la vez por brindarnos todos los recursos necesarios y apoyo incondicional para alcanzar los resultados de nuestra investigación. De igual manera, agradecemos a todos los docentes que nos han sabido guiar y haber compartido sus conocimientos y experiencias en la preparación de nuestra profesión. También, agradecemos a la Asociación de agricultores de Sumaypamba por su acogida y su interés por sacar adelante este estudio, logrando conseguir beneficios para la comunidad.

Gracias por la confianza ofrecida durante el desarrollo del presente proyecto.

María José y Andrea

Agradecimientos

Todo trabajo realizado con esfuerzo, perseverancia y apoyo de sus seres queridos tiene su recompensa.

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme salud y sabiduría durante este camino. Gracias a mi mamita Rebeca, a mi hermana Teresita y mis dos hermanos Sergio y Carlos, gracias por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. Todos mis logros se los debo a ustedes, gracias de todo corazón por hacer grandes sacrificios para verme cumplir mis sueños, sin ustedes este camino hubiera sido mucho más complicado.

A mi tío Hermel gracias por siempre estar presente y por apoyarme en cada paso que doy estoy muy agradecida, el camino de la tesis fue más fácil y ameno con tu ayuda.

A mis amigos Josué, David y Fabian, a mis amigas Gabi, Caro, Mery, Moni, Dani, Karlita, Sofí y Pauly gracias por siempre apoyarme y alentarme durante este proceso, gracias por acompañarme y ayudarme en cada momento.

Agradezco de todo corazón a todas las personas que aportaron con poco de su tiempo y sabiduría, gracias por confiar en mí, gracias por la paciencia durante este largo camino.

María José

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a toda mi familia y amigos, en especial a mi mamá que me enseñó la importancia de nunca darse por vencida y siempre perseverar para lograr los sueños.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminar mi camino con personas que me han apoyado incondicionalmente.

A mis padres Gladys e Ignacio, quienes con su paciencia y amor me han permitido llegar a cumplir un sueño más. Cada consejo fue fundamental para formarme y entender que todo sacrificio siempre viene acompañado de una recompensa, dedicando todo su cariño a guiarme y apoyarme en momentos duros para poder conseguir este triunfo. Sin lugar a duda, sin su apoyo constante no hubiese podido alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos Sebastián y Mateo quienes me han regalado momentos de alegría y palabras de apoyo que han venido siendo la fortaleza necesaria para seguir adelante y lograr con mis objetivos.

A mi tía Patricia, que desde el primer momento ha estado a mi lado cada día durante estos largos años. Siendo mi consejera, apoyo moral y económico para cumplir con esfuerzo esta meta culminada, agradezco por creer en mí, y siempre tener esas palabras correctas de aliento por este objetivo conseguido.

A Mateo Román, quien en este proceso me ayudo a ser más fuerte, a no darme por vencida, pero sobre todo por estar ahí cuando necesitaba un empujón para no rendirme.

Agradezco a cada persona que con cariño se preocupó por mí, por extenderme su mano y por brindarme ese cariño sincero lleno de bondad esperando verme crecer profesionalmente.

Andrea

Dedicatoria

A mi hija Noelia, quien ha sido mi motor para nunca rendirme, su apoyo y cariño al motivarme en seguir adelante es lo que me inspira en continuar cosechando metas en mi vida. Todo lo que soy y hago es por y para ti.

Capítulo 1: Generalidades

1.1. Introducción

En la actualidad, el incremento del consumo energético causa preocupación por el calentamiento global por lo que se ha promocionado el uso de energías renovables para sectores diversos, entre ellos el agrícola. Dentro del grupo de las energías renovables, la eólica como la fotovoltaica son alternativas que promueven la sostenibilidad al momento de compararlas con las energías convencionales. En este proyecto se busca plantear una propuesta factible para un sistema de riego basado en energías renovables, y así conseguir un sistema seguro, factible y amigable con el medio ambiente. Para la simulación del sistema de energía se emplea el software HOMER, el cual permite analizar el comportamiento de un sistema de bombeo basado en fuentes renovables de energía. Se utiliza para simular un esquema de planta de energía renovable en base a los datos que brinda la estación meteorológica de Sebastián de Yúluc y luego se simulan para encontrar la configuración de la energía óptima con respecto al costo operativo (Chamba y Oyague, 2022). El bombeo de agua con energías renovables para agricultura es considerado una alternativa sostenible y moderna, ya que proporciona una viabilidad en varios aspectos económicos, técnicos referentes a la eficiencia energética y considerando también los ambientales por la disminución de la contaminación al medio.

1.2 Justificación

La empresa Electro Generadora del Austro (ELECAUSTRO S.A) es una empresa visionaria y sostenible que genera energía eléctrica renovable y diversificada, aportando así procesos innovadores en el sistema eléctrico ecuatoriano. Dentro de sus programas de gestión social y ambiental se encuentra el Proyecto Eólico “Minas de Huascachaca”, ubicada en el cantón de Saraguro provincia de Loja, en donde su primera etapa converge la parroquia Sebastián de Yúluc, esperando así llegar a otras zonas incluida la parroquia de Sumaypamba. La misión,

visión y objetivos estratégicos que plantea la empresa abren la posibilidad de plantear nuevos proyectos de generación eléctrica con énfasis en energías renovables como lo son la eólica y la solar con el fin de aprovechar estos recursos, siendo así un referente para la transición energética del país.

La implementación de sistemas de riego basados en energías renovables en zonas de difícil accesibilidad ha sido analizada y puesta en funcionamiento en diversas locaciones, permitiendo solventar la escasez de agua, así como también contribuir a la reducción de emisiones de efecto invernadero. En este sentido, el presente proyecto pretende realizar un estudio de prefactibilidad de un sistema de riego a base de energías renovables eólica-fotovoltaica aplicable para la Asociación de Agricultores de la parroquia Sumaypamba en el cantón Saraguro, provincia de Loja, que presenta escasez de agua para sembríos en ciertas épocas del año, aprovechando los recursos naturales que existen en la zona.

Este trabajo se realizará en conjunto con la empresa ELECAUSTRO S.A, haciendo énfasis en los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), planificando acciones para la implementación de energías limpias, considerando las fuentes de energía no convencionales y fomentando nuevas fuentes de estudios científicos. Así como la sustentabilidad de suministro de energía y protección, buscando un beneficio ambiental al aplicar energías limpias y convirtiéndose en una solución aplicable a los desafíos que enfrenta el mundo.

La zona de estudio posee buenas condiciones climáticas, donde su temperatura y precipitaciones ayudan a tener una buena producción agrícola, sin embargo, el territorio mencionado es semidesértico en ciertas épocas del año. Por lo tanto, se plantea una alternativa sostenible para mejorar la agricultura mediante un sistema de riego con uso de energía renovables, llegando a lugares poco accesibles y generando comunidades sostenibles con el medio ambiente.

La aplicación de tecnologías limpias, el buen uso de los recursos se orienta a dar solución y alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo. Según la Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Sumaypamba (2020), Sumaypamba espera generar una producción amigable con el medio ambiente, buscando producir empleo estable y protegido, contribuyendo a su bienestar social y mejorar la calidad de vida de su comunidad.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Realizar un estudio de prefactibilidad de un sistema de riego con energías renovables eólico-fotovoltaico para la Asociación de agricultores de la parroquia Sumaypamba en el cantón Saraguro, provincia de Loja.

Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de agua requerida para el sistema de riego en base al tipo de suelo en el área de estudio.
- Analizar y evaluar el potencial eólico y solar necesario para el diseño de un sistema de riego con energías renovables.
- Proponer alternativas para un sistema de riego basado en fuentes renovables como alternativa energética en base a criterios técnicos, económicos y ambientales, considerando los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.4. Alcance

El estudio tiene como objetivo analizar la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de un sistema de riego a base de energías renovables aplicable en la parroquia de Sumaypamba, cantón de Saraguro.

El proyecto analiza la viabilidad de la propuesta del estudio que justifique la alternativa técnica que mejor se adapte a los criterios de optimización de energías renovables eólica-fotovoltaica.

Se estudiará el recurso solar y eólico disponible en la zona, para lo cual se tienen registros de la estación meteorológica de San Sebastián de Yúluc; esta información permitirá dimensionar una alternativa (la más conveniente) como una primera etapa de generación solar fotovoltaica-eólica. Mediante el apoyo del software HOMER PRO se realizará el modelamiento del sistema basado en la disponibilidad del recurso.

Es también importante incluir un reservorio que permita almacenar agua para la fase de riego, en donde los procesos de carga hídrica y la distribución del recurso se realizan de forma manual, los cuales deben ser aprovechados al máximo para efectuar un mejor aprovechamiento del agua, innovando tecnológicamente la infraestructura existente de los sistemas de riego. Esto genera una alternativa energética en base a criterios técnicos, económicos y ambientales, siendo considerados los Objetivos de Desarrollo Sostenible para brindar un mejor alcance al proyecto.

1.5. Antecedentes

Ecuador, debido a su ubicación geográfica posee una diversidad de flora y fauna, cuenta con recursos como la radiación solar y el viento, los cuales son recursos óptimos para aplicaciones energéticas. El gobierno nacional creó el Plan Maestro de Electricidad (PME) 2013-2022, el cual incentiva la ejecución de proyectos fotovoltaicos, eólicos, entre otros, siendo un plan estratégico para cubrir las demandas a corto, mediano y largo plazo.

El sistema energético ecuatoriano se basa en fuentes de energía de origen fósil y renovables, siendo el 92% centrales hidráulicas, el 7% de térmicas y el 1% de fuentes no convencionales (fotovoltaica, eólica, entre otras). A través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y no Renovables (2020) se pretende aprovechar los recursos para la producción de energía eléctrica.

El aumento de la demanda de energía con la reducción simultánea de fuentes convencionales hace de las energías renovables una fuente eficaz debido a su diversidad. Los Gobiernos,

organizaciones y organismos no gubernamentales han buscado llevar a cabo un desarrollo ambiental para contrarrestar el calentamiento global (Castillo, 2017).

Las energías renovables funcionan satisfactoriamente, con un 80.1 % de la generación eléctrica en el país proveniente de fuentes renovables, contribuyendo a la conservación de energía y la minimización de las emisiones ambientales (Delás, 2003). Frente a los graves problemas ambientales y las crecientes demandas de la gente de un entorno de vida limpio, la innovación verde se ha convertido en una forma importante y significativa de resolver problemas complejos. Por lo tanto, es necesario determinar el camino hacia la innovación verde en el campo de las energías renovables (Yang et al., 2022).

Una de las energías renovables más antiguas es la energía solar, en el Ecuador es muy utilizada también. Para ello existen mapas de radiación solar que permite analizar el potencial en el territorio como evidencia se muestra en la Figura 1. Dicha energía fue empleada por algunas civilizaciones como la romana, china y griega para fines bélicos. Sin embargo, no fue hasta finales del siglo XIX cuando aparecieron las primeras instalaciones de bombeo, a raíz del descubrimiento de los colectores de energía capaces de proporcionar en forma de vapor (Relea, 2019).

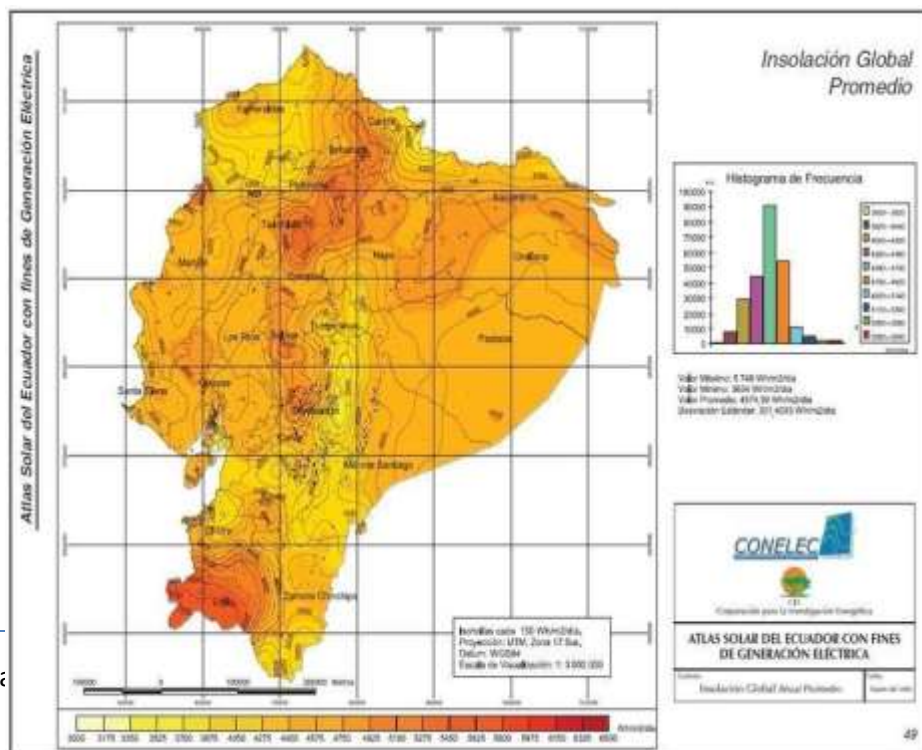


Figura 1

Mapa Solar del Ecuador

Fuente. Adaptado de Muñoz et al., 2018.

La energía eólica es una fuente energética natural, limpia, renovable, no contaminante y económicamente competitiva y con una tecnología de aprovechamiento madura. De igual manera ha sido utilizada desde la antigüedad, tanto para impulsar barcos de vela como para hacer funcionar la maquinaria de un molino. El norteamericano Charles F. Brush construyó en 1887 un aerogenerador para la producción de electricidad (Requene, 2017).

El Ecuador cuenta con un potencial energético importante para la implementación de parques eólicos, principalmente en la región andina como se muestra en la Figura 2.

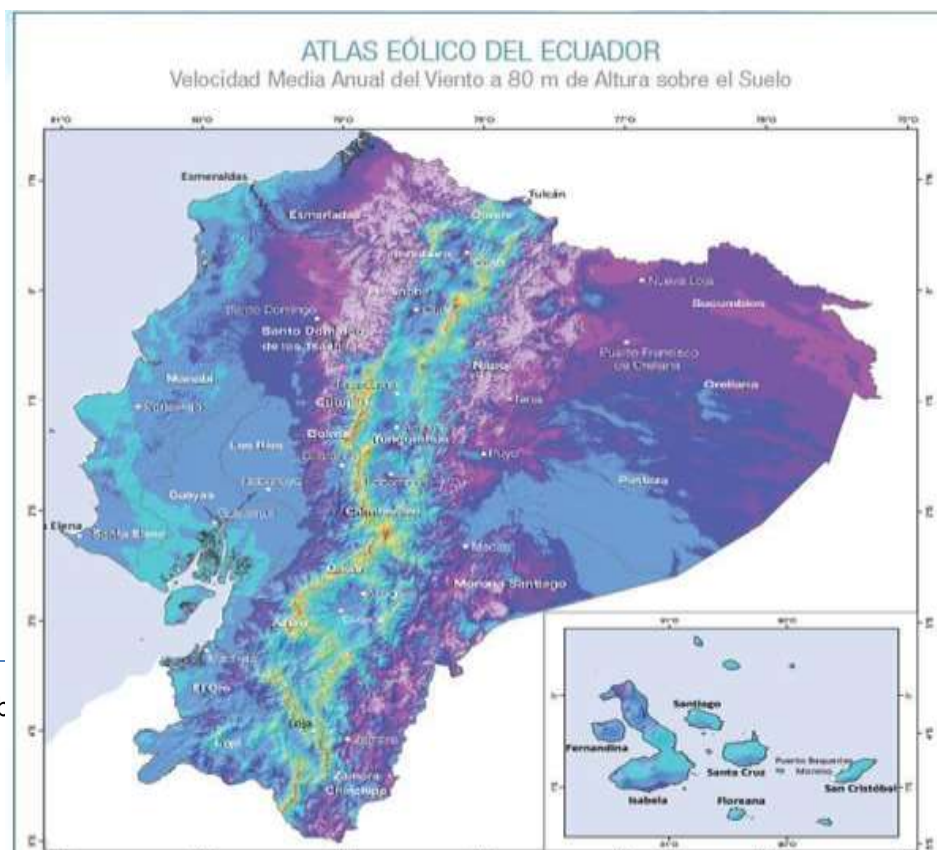


Figura 2

Atlas Eólico del Ecuador

Fuente. Adaptado de Cuji, 2019.

Es necesario mencionar que la empresa Electro Generadora del Austro tiene una creciente capacidad de producción energética. Actualmente se encuentra desarrollando el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca, el mismo que aprovechará el viento para la producción de energía limpia. Este proyecto se ubica a 84 km al sur oeste de la ciudad de Cuenca por la vía Girón - Pasaje, cantón Saraguro, provincia de Loja. Este proyecto será el más grande en términos de potencia instalada que se ha propuesto para brindar energía en el Ecuador.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Fuentes Convencionales de Energía

La generación de energía a partir de fuentes convencionales tiene un uso limitado de los recursos, porque están generados de fuentes no renovables, es decir, que una vez que su abastecimiento se agota, su consumo es mayor a su regeneración. Entre las fuentes de energía convencionales están los combustibles fósiles, estos generan un fuerte impacto en el medio ambiente, siendo la destrucción de la capa de ozono uno de los más importantes (Vivanco, 2020).

En este sentido Machado (2010) afirma que las energías convencionales son extraídas y llevadas a centrales de generación eléctrica en las que su proceso provoca la liberación de gases contaminantes a la atmósfera como el CO₂, uno de los causantes principales del efecto invernadero. Dichas energías pueden clasificarse como se muestra en la Figura 3.

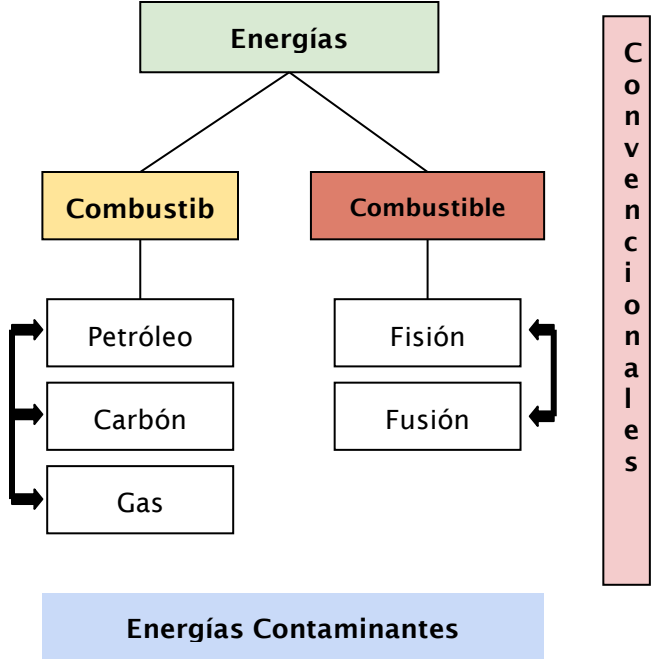


Figura 3

Clasificación de energías convencionales

2.1.1. Clasificación de energías convencionales

Los combustibles fósiles son un fenómeno con un impacto global en la vida humana y sus actividades, las causas muestran la contribución antrópica, como diversas actividades en la quema de combustibles y sus derivados. Estos combustibles se convierten en diferentes tipos de rocas que contienen calor concentrado. Así se originan sustancias como el petróleo, el carbón o el gas natural, mediante procesos de excavación, se pueden separar desde las profundidades del suelo y mediante tratamientos, pueden desprender dicha energía concentrada (Silva et al., 2022).

2.1.1.1. Gas Natural

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se encuentra en yacimientos fósiles, no asociado (solo), disuelto o asociado (acompañando al petróleo o al carbón). Está compuesto principalmente de metano alrededor de un 90%, acompañado de otros gases como

nitrógeno, etano, dióxido de carbono y butano, entre otros. Esta composición hace que el gas natural sea un combustible más limpio que los derivados del petróleo. Sin embargo, la composición del gas natural no es uniforme, ya que varía de un yacimiento a otro (Ormeño et al., 2011).

2.1.1.2. Petróleo

Es un líquido oleoso e inflamable de origen natural, que se compone principalmente de una mezcla de hidrocarburos, estos varían entre un 50 y un 98%, y diversos compuestos orgánicos que contienen oxígeno, nitrógeno y azufre (Orosco y Soria, 2010). Generalmente en algunas ocasiones se encuentra en manantiales o charcas, pero por lo general se extrae de debajo de la superficie de la Tierra mediante perforación de pozos. Llamado con anterioridad aceite de roca o aceite mineral, el petróleo sin refinar se conoce en la actualidad como petróleo crudo (Ortuño, 2021).

2.1.1.3. Carbón

Recurso mineral que posee aspectos predominantes de origen natural, se considera un agregado de diferentes componentes, sin embargo, es más una roca que un mineral, siendo entonces un agregado de minerales que se forma bajo condiciones específicas de medio ambiente, presión y temperatura, permitiendo la acumulación de materia mineral como de materia orgánica. Su medio de formación propicio es dentro de un ambiente húmedo, poca oxigenación y alto pH, por esta razón estos ambientes se encuentran en las zonas costeras o continentales y corresponden a pantanos o ciénagas (Mejía, 2014).

2.2. Energías Renovables

Energías inagotables de origen natural que se renuevan constantemente en periodos de tiempo cortos, son obtenidos de fuentes naturales interminables como el sol, el viento, la geotermia, la mareomotriz, entre otros (Barrón et al., 2021). Las fuentes naturales pueden ser utilizadas en cualquier parte del planeta y sus características de diversidad, abundancia y potencial de

aprovechamiento lo hacen una fuente de energía adecuada y con bajo impacto ambiental (Barrón et al., 2021).

Como ya se mencionó anteriormente, según Dincer (2018), la producción de la energía renovable está influenciada directamente por el sol, en el caso de la energía solar; y de forma indirecta en la energía eólica, hidráulica y biomasa. Por lo que la implementación de estas energías es estratégica para los países que presentan condiciones ambientales favorables (Cedrick y Long, 2017).

En la actualidad, las energías renovables son una realidad en nuestra sociedad y sus beneficios para el medio ambiente son evidentes, la participación de ellas en el suministro eléctrico global proporcionan un incremento de demanda eléctrica principalmente a través de las tecnologías eólica y fotovoltaica. En la Figura 4 se presenta la clasificación de las energías renovables.

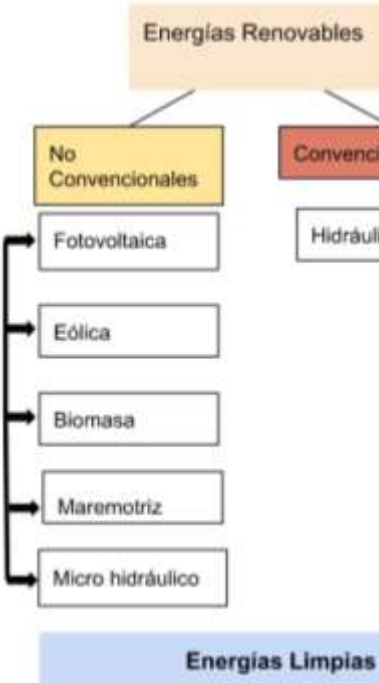


Figura 4
-Clasificación de Energías Renovables

2.3.1. Convencionales

2.3.1.1. Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es una fuente renovable que se produce a través de la construcción de represas; utiliza agua como principio para la producción de energía en las centrales hidroeléctricas. En estas, el agua se acumula en la represa para luego caer desde una altura sobre una turbina hidráulica, haciéndola girar y produciendo electricidad a través de los generadores. Luego, se eleva su tensión para transportar la energía sin mayores pérdidas y posteriormente incorporarse a la red eléctrica (ENEL, 2018).

El cambio climático y el aumento del riesgo de sequía también afectan a las centrales hidroeléctricas de todo el mundo. En el oeste de Estados Unidos, las emisiones de dióxido de carbono durante un período de 15 años fueron 100 megatoneladas más elevadas de lo que habrían sido normalmente, según un estudio, ya que las empresas de servicios públicos recurrieron al carbón y al gas para reemplazar la energía hidroeléctrica perdida por la sequía (Nunez, 2010). En el Ecuador se encuentran construidas varias centrales eléctricas, en el ejemplo de la Figura 5 tenemos a la Central Hidroeléctrica Manduriacu.



Figura 5

Centrales hidroeléctricas del Ecuador

Fuente. Adaptado de Chanataxi Suntaxi et al., 2021.

2.3.2. No Convencionales**2.3.2.1. Energía solar**

Energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del sol, se obtiene de una fuente natural e inagotable. Se pretende un aprovechamiento mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el paso del tiempo. Este tipo de energía es abundante; por ello además de ser una fuente renovable, es una energía limpia ya que no emite gases de efecto invernadero y supone una alternativa a otros tipos de energía no renovables como la energía fósil o la nuclear (Hilcu, 2021). Existen 3 tipos de energía solar que según el Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [BBVA] (2022) las clasifica y conceptualiza de la siguiente manera:

a. Energía solar térmica

A esta energía se la considera energía activa ya que ocupan dispositivos que permiten transformar la corriente continua que procede del sol; este sistema aprovecha el aporte calorífico, donde la radiación solar se convierte en energía térmica. Existen diversos tipos de centrales solares como: las termo solares, que calientan un fluido para obtener vapor de agua y mover la turbina que genera electricidad; mientras que las centrales fotovoltaicas, ocupan instalaciones para aprovechar la radiación solar y de esta manera generar energía eléctrica usando paneles solares para convertir la luz del sol en electricidad (BBVA, 2022).

b. Energía solar pasiva

La energía solar pasiva aprovecha de forma directa la energía procedente del sol sin realizar ninguna transformación. Por tanto, no es necesario utilizar ningún dispositivo eléctrico para

transformar una corriente a otra ni para acumular la energía, como sucede con la energía activa de los otros dos tipos anteriormente explicados (BBVA, 2022).

c. Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía permite la obtención directa de electricidad a partir de la radiación solar. Al tratarse de un tipo de energía renovable, es inagotable y no contaminante puede producirse en instalaciones con paneles solares fotovoltaicos. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que es modular logrando con ella agregar o retirar los módulos fotovoltaicos dependiendo la demanda o la necesidad que se tenga en el momento. Los paneles pueden ser utilizados para el autoconsumo; es decir, brindar electricidad en hogares o edificios, así también abastecer a la red eléctrica a través de grandes centrales (BBVA, 2022).

Según Hilcu (2021) la transformación de la energía fotovoltaica a energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales por los que está formada la placa solar mediante células fotovoltaicas que contiene. En la Figura 6, se muestra el sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos. La mayor parte de los módulos fotovoltaicos están hechos a base de silicio en su mayoría para su posible transformación. Por lo tanto, cuando la luz del sol incide en una de las caras de la célula solar es capaz de generar corriente eléctrica.

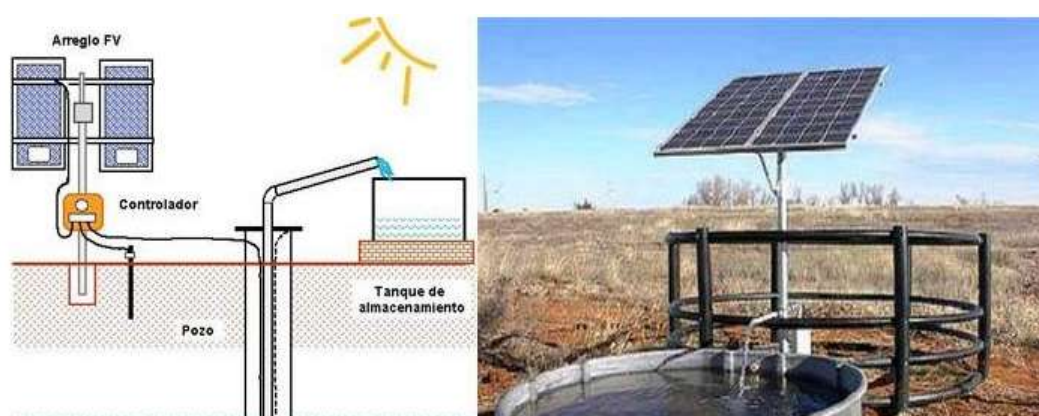


Figura 6

Siste
ma

de bombeo mediante paneles fotovoltaicos

Fuente. Adaptado de Auto Solar, 2015.

2.3.2.1.1. Radiación solar

La energía que emite el sol en el espacio interplanetario es denominada radiación solar, misma que se cuantifica al momento de llegar a la Tierra mediante la irradiación solar, esta es la energía recibida por unidad de superficie (Martínez y Villagrán, 2012).

Esta se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Considerando la energía como un motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol como se indica en la Figura 7 muestra diferentes tipos de radiación solar (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

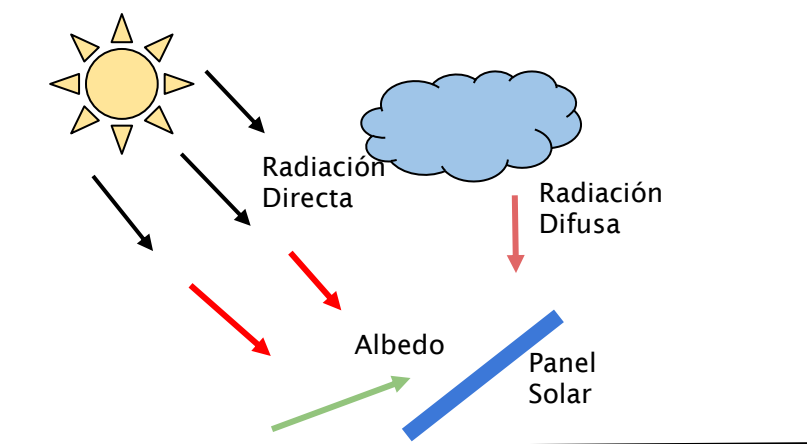


Figura 7

Tipos de radiación

2.3.2.1.2. Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico capta energía esta constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aprovechable en múltiples actividades de la vida (Arencibia, 2016).

Los paneles fotovoltaicos constan de un sistema de captación solar (células solares dispuestas en paneles), baterías para almacenar la electricidad generada en corriente continua y el sistema de control para asegurar el correcto funcionamiento de carga y descarga de las baterías (Puig, 2007). En la Figura 8, se observan los componentes del panel fotovoltaico.

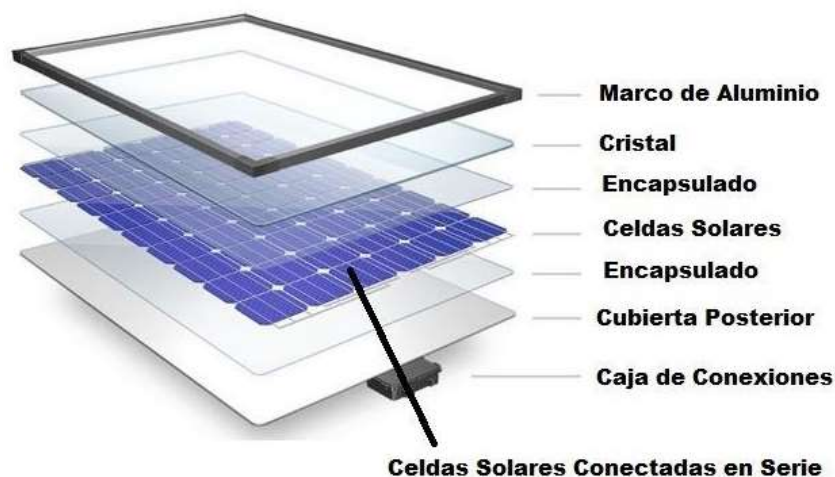


Figura 8

Componentes de un panel FV

Fuente. Adaptada del Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica.

La eficiencia que presenta un panel se verá relacionado con la potencia de salida en los terminales y la potencia de la radiación solar que incide en la superficie. La vida media útil de un panel fotovoltaico es de 30 años (Cushicóndor, 2019).

El uso de energía solar fotovoltaica (ESFV) para alimentar mini redes, es una manera beneficiosa de ofrecer acceso a la electricidad para sitios donde las líneas de transmisión de energía son escasas, particularmente en los países en vías de desarrollo con disponibilidad de dicho recurso. Siendo considerados una tecnología asequible por su costo en implementación (Agencia Internacional de la Energía [IEA], 2022).

Diferentes tipos de paneles:

Según el autor Vega (2013) en su trabajo de investigación titulado “Estudio comparativo de distintas tecnologías fotovoltaicas”, clasifica a los paneles solares en tres tipos, como se describe a continuación:

a. Monocristalino

Esta tipología comprende células monocristalinas que son las que, a simple vista, podemos distinguir por su color negro y su forma con las esquinas redondeadas. Las células monocristalinas se fabrican con bloques de silicio en forma de cilindro. Con la finalidad de reducir los costes de fabricación y de optimizar el rendimiento, se recortan los cuatro lados de los bloques de silicio para hacer láminas (Vega, 2013).

b. Policristalino

Las células policristalinas también utilizan obleas de silicio en su fabricación, sin embargo, éstas proceden del corte de un bloque de silicio formado por un elevado número de pequeños cristales de dicho mineral (Vega, 2013).

c. Capa fina

Los paneles de capa fina, por lo general, tienen una eficiencia que oscila entre el 7% y el 13%. Dependiendo de cuál sea el material empleado, se pueden clasificar en paneles de capa fina de silicio amorfo, de telurio de cadmio, de cobre, galio, indio y selenio, o también células fotovoltaicas orgánicas. Estos paneles aparecieron para evitar que, en caso de escasez de silicio, se dejaran de fabricar módulos fotovoltaicos. Además, sus costes de producción son menores (Vegas, R. 2016).

2.3.2.2. Energía eólica

En los últimos años, existe un interés creciente en el movimiento general de la atmósfera, donde los vientos dominantes de grandes regiones de la tierra, se encuentran más caliente, originando estructuras particulares de los vientos (Moragues y Rapallini, 2003).

La energía eólica depende de las políticas de repotenciación y renovación. En la Figura 9, se observa las tendencias de generación de electricidad hasta el 2025, se espera que más de 180 GW de capacidad eólica mundial tengan al menos 15 años: 86 GW en Europa, 39 GW en Estados Unidos y 30 GW en China (International Renewable Energy Agency [IRENA]. 2023).

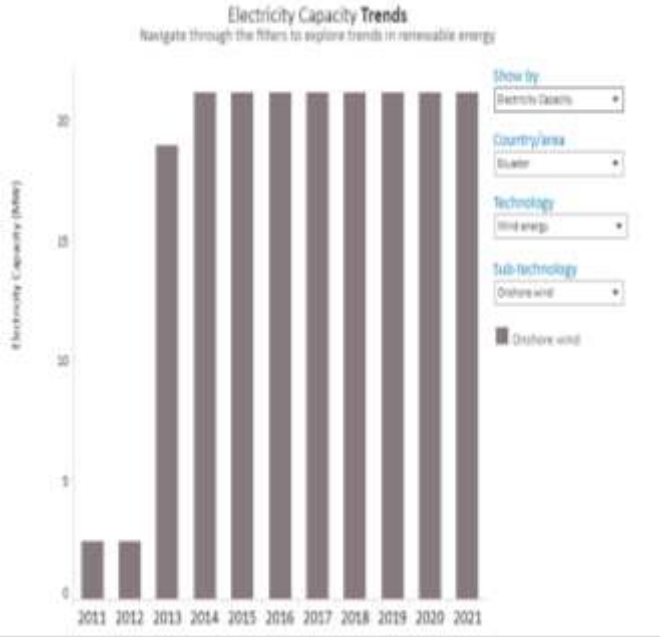


Figura 9

Tendencias de generación de electricidad

Fuente. Adaptado de International Renewable Energy Agency (IRENA)

2.3.2.2.1. Aerogeneradores

Los aerogeneradores son estructuras que se mueven debido al movimiento del viento por energía y lo convierten en energía eléctrica. Un análisis de viabilidad técnica de la aplicación de aerogeneradores de grande y pequeño tamaño, utilizan parámetros de forma y escala como la distribución de viento real y las curvas de distribución de energía eléctrica con un viento real (Araújo et al., 2009). Todo aerogenerador posee un rotor que va cambiando con la velocidad del viento, buscando eficiencia.

De esta forma, la energía cinética se convierte en energía mecánica para después transformarse en energía eléctrica por medio de un alternador para lo cual la Figura 10 describe a continuación.

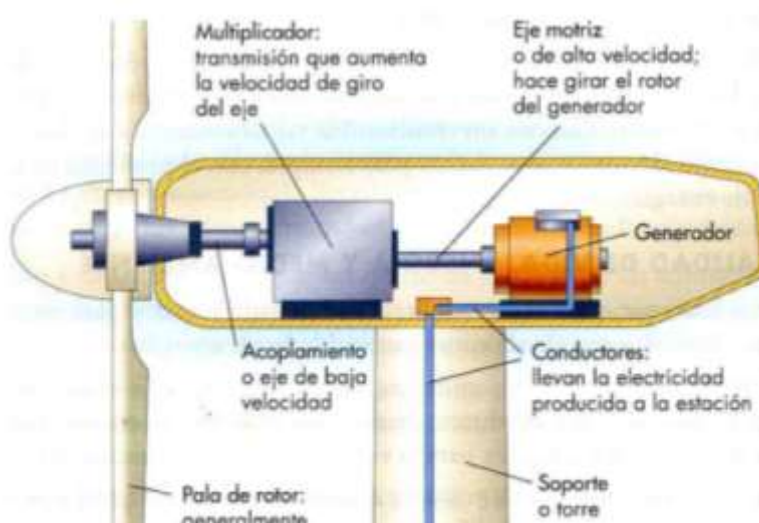


Figura 10

Funcionamiento

de la energía eólica

Fuente. Adaptado de Revista de Divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, s/f.

La energía eólica es una tecnología importante para lograr el desarrollo bajo en carbono de la industria energética (Liu, 2022). Es uno de los recursos populares de energía limpia que se ha desarrollado rápidamente en todo el mundo y se ha convertido en una parte indispensable del sistema de energía otorgando importantes beneficios económicos y ambientales (Xiong et al., 2022).

Los componentes para un sistema eólico tienen un costo bajo de mantenimiento produciendo un impacto considerablemente menor al de las fuentes convencionales. La energía eólica se enfoca en los últimos años en países en desarrollo que poseen un potencial energético importante, aspirando al año 2030 estos países poseen una capacidad eólica de la mitad a

escala mundial (Juárez y León, 2014). Sin embargo, la generación eólica energética representa un porcentaje aún bajo en Ecuador, como ejemplificación se muestra en la Figura 11 el Sistema de bombeo mediante energía eólica.



Figura 11

Sistema de energía eólica en zonas para cultivos

Fuente. Adaptado de Escuela de Organización Industrial, 2016.

Un aerogenerador eléctrico es movido por una turbina asociada al viento. La energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se dirige al rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento va depender de la densidad del aire, el área de barrido del rotor y de la velocidad del viento. Convirtiendo la energía rotacional mecánica en energía eléctrica (Juárez, 2022).

2.4. Recurso Hídrico para Sembríos

El agua es un recurso esencial para la producción agrícola que considera las necesidades hídricas de cada cultivo. La contaminación del agua causada por la agricultura afecta a miles de millones de personas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura [FAO],2017). Sin embargo, en las aguas naturales pueden presentarse contaminantes de naturaleza inorgánica como fertilizantes y metales pesados. En este sentido González y Estévez (2005) analizan el uso del recurso hídrico para fines agrícolas es un tema central en cualquier debate sobre la seguridad alimentaria en el mundo.

El agua utilizada para riego con fines agrícolas tiene efectos importantes sobre la producción de cultivos, así como también el valor de la productividad del recurso hídrico para sembríos es muy variable. La cantidad de agua aplicada a un cultivo cualquiera y no limitante para obtener una producción máxima donde la mayor producción obtenida será una función del factor que limite para este rendimiento y que puede variar en función de la adaptación del cultivo al medio donde se desarrolla la productividad del suelo, de los niveles de aplicación de fertilizantes y también con la técnica de riego que se emplee (González et al., 2014).

Una herramienta desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) es útil para agrónomos e ingenieros en riego, para el cálculo estándar de la evapotranspiración y consumo de agua de los cultivos, para elaborar sistemas de irrigación, mejores prácticas de riego y calendarios de riego es el software CROPWAT 8.0 empleado para calcular los requerimientos de agua para un cultivo y sus requerimientos de riego en base a datos del cultivo y climáticos. También permite calcular la evapotranspiración del crecimiento del cultivo mediante opciones como el Momento de Riego: Regar a intervalos fijos por etapa, el cual en algunos cultivos se usó en inicial 10 días, etapa de desarrollo 20 días, etapa media 30 días y etapa final 5 días (Pérez, 2012).

2.5. Sistemas de Bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permite transformar energía, aplicándola para mover el agua, en donde se transporta a través de tuberías desde una fuente de almacenamiento de líquido, hasta conseguir abastecer de agua lugares sin acceso a ella (Gualancañay y Jaguaco, 2017).

El sistema de bombeo se utiliza para suministrar agua tomando en cuenta el caudal, las pérdidas en el sistema y la facilidad de adaptación del conjunto a una energía alternativa (Gallego, 2016). El beneficio del sistema propuesto es que se puede utilizar para suministrar agua a áreas remotas y zonas rurales (Obaid et al., 2019).

2.6. Avance Tecnológico de Sistemas de Bombeo

Las tecnologías limpias renovables consisten en la aplicación de estrategias que incluyen técnicas que beneficien el planeta como el reciclado, sustitución, recuperación y revalorización. Son propuestas en diferentes ámbitos socioeconómicos como medidas paliativas a los efectos negativos causados por actividades antropogénicas (Brown y Gil, 2003).

Las tecnologías limpias permiten aprovechar los recursos renovables para satisfacer las necesidades energéticas requeridas disminuyendo los daños y contaminación del medio ambiente, producido por los métodos tradicionales de producción energética.

2.6.1. Software de Modelamiento

Los proyectos con energías renovables van en aumento, por ende, los softwares de modelamientos para estimar diseños óptimos se actualizan cada vez con un manejo completo y ágil para efectuar análisis económicos y técnicos. Estos softwares permiten diseñar nuevos e innovadores sistemas usando energía renovable que puedan disminuir la dependencia de los recursos energéticos convencionales (Khalil et al., 2020).

2.6.2. HOMER Pro

El software HOMER versión Pro 3.14.2 de 64 bits (Modelo de Optimización Híbrido para Energías Renovables Eléctricas) es un software muy completo y útil para diseñar proyectos con energías renovables. En la Figura 12, indica la página del software, la cual se aplica para dimensionar en forma óptima los componentes microrred y para simular su desempeño eléctrico y económico a lo largo de su vida útil. También cuenta con un optimizador económico que busca la mejor combinación y dimensiones de los distintos componentes que conforman la


microrred, resultando el dimensionamiento óptimo en base al costo actual neto del proyecto de toda su vida útil. Esta herramienta permite, además, realizar un análisis económico de los recursos energéticos renovables disponibles, diseño de lamicrorred y análisis de viabilidad financiera de los diferentes escenarios planteados (Trujillo et al., 2021).

Figura 12

Aplicación HOMER Pro

Fuente. Adaptado de HOMER, s/f.

2.6.3.



The HOMER Pro[®] microgrid software by HOMER Energy is the global standard for optimizing microgrid design in all sectors, from village power and island utilities to grid-connected campuses and military bases. Originally developed at the National Renewable Energy Laboratory and enhanced and distributed by HOMER Energy, HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) nests three powerful tools in one software product, so that engineering and economics work side by side.

Simulation

At its core, HOMER is a simulation model. It will attempt to simulate a viable system for all possible combinations of the equipment that you wish to consider. Depending on how you set up your problem, HOMER may simulate hundreds or even thousands of systems.

HOMER simulates the operation of a hybrid microgrid for an entire year, in time steps from one minute to one hour.

Aplicaciones del software HOMER

El uso de las energías renovables como la solar y la eólica aplicadas en sistemas de bombeo ha sido ampliamente estudiado. Pisco y Torres (2021) hacen referencia al desarrollo y simulación de un sistema híbrido eólico-solar para el abastecimiento de energía eléctrica a la “Hacienda bananera Quirola” ubicada vía Valencia, en la Provincia de Los Ríos. En este estudio se determinó el requerimiento de energía necesaria para el consumo, donde se consideran diversos parámetros para seleccionar los equipos requeridos para la generación de energía. Mediante el software HOMER, se analizó el comportamiento en función de las variables y parámetros registrados con la finalidad de tener un menor error en la demanda, se observó más favorable la instalación del generador fotovoltaico debido a su inversión en la instalación.

Asimismo, Ruiz (2021) analiza el uso de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para zonas rurales mediante el uso del software HOMER. Este autor evalúa el rendimiento técnico-económico, así como el correcto funcionamiento del sistema de modo que se pueda validar de

forma efectiva su viabilidad y aplicabilidad. Siendo considerado los resultados del proyecto exitoso, en cuanto al cumplimiento de los objetivos trazados y a su enfoque hacia los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Organización de Naciones Unidas (ONU). Bekele y Boneya (2012) analizaron un sistema híbrido, donde la generación de energía eléctrica para suministro de una comunidad modelo en un área remota de Etiopía resulta favorable.

Mediante la utilización del software HOMER, se pudo optimizar los datos y generar un análisis de sensibilidad, dando como resultado la viabilidad del sistema híbrido para electrificar 200 familias modelo. Por lo que se corrobora, que los sistemas híbridos de energías renovables son ideales para otorgar autonomía energética a sitios remotos (Burbano, 2021).

2.6.4. Modelo de software similares a HOMER

EcosimPro es una herramienta de modelado y simulación de primera clase, se basa en un software para procesos físicos reales simples y complejos, los cuales pueden ser expresados mediante ecuaciones diferenciales algebraicas o ecuaciones diferenciales ordinarias (Li et al., 2020). El software cuenta con entorno de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, como son la energía eólica y solar. La Agencia Espacial Europea indica como su herramienta recomendada para simulación de los sistemas de control ambiental y los sistemas de energía. Utiliza un paradigma no causal que permite reutilizar los modelos proyecto a proyecto.

La librería de energías renovables ha sido desarrollada por la Universidad de Valladolid, permitiendo su integración en redes de bajo voltaje, capaces de suministrar energía eléctrica en áreas remotas, cuando el suministro desde la red principal o nacional es difícil debido a la topología o condiciones climáticas (García, 2016).

2.7. Regulaciones y Normativas Vigentes de Energías Renovables en el Ecuador

El sector eléctrico es considerado un área estratégica del estado ecuatoriano. Este importante sector que ha sufrido significativos cambios en los últimos. Como ayuda a promover

el uso de energías alternativas. La Constitución de la República del Ecuador, establece promover la eficiencia energética, el desarrollo, uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, mediante el Decreto Ejecutivo No. 229. Este documento tiene como objetivo viabilizar y permitir la efectiva aplicación de los preceptos y principios establecidos en el Consejo Nacional de Eficiencia Energética, encargado de vigilar el cumplimiento del Plan Nacional de Eficiencia Energética (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2014), define el artículo 313, como sectores estratégicos a la energía en todas sus formas. En la Constitución de la República del Ecuador(2008) se establecen los siguientes artículos enfocados en eficiencia energética:

Artículo 3.- Principios: En materia de eficiencia energética, son principios de la presente Ley, todos los que emanan de la Constitución de la República, de los instrumentos internacionales ratificados por el Ecuador, de leyes de la materia y los contemplados en esta:

Ley 1. Racionalización del consumo energético y preservación de recursos energéticos, renovables y no renovables;

Ley 2. Mejoramiento de la productividad y la competitividad a través de la reducción de costos por uso eficiente de la energía;

Ley 3. Promoción de energía limpia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero;

Ley 4. Fomento de una cultura nacional orientada al uso eficiente de los recursos energéticos;

y, Ley 5. Transparencia e información adecuada para los consumidores y tomadores de decisión.

Sección segunda: Ambiente sano

Artículo 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Artículo 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

2.8. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible fueron propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, el 25 de septiembre del 2015, con el fin de generar un plan de acción a quince años llamado Agenda 2030. Promoviendo la protección del planeta, erradicación de la pobreza y la generación de oportunidades para todos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

Se aprobaron 17 Objetivos Globales y cada uno de ellos tiene metas específicas a alcanzarse, reconociendo que una acción en un área afectará los resultados en otras, por lo tanto, el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental.

Los ODS planteados en la Agenda 2030 son:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y Bienestar
4. Educación de Calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía Asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsable
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Capítulo 3: Suelo

3.1. Clasificación de suelo

El suelo es el medio donde la planta puede desarrollarse, proporciona nutrientes esenciales, agua, oxígeno y soporte para las raíces de las mismas (FAO, 2017). De igual forma, el suelo es la superficie de revestimiento, de distinto espesor que precisa la profundidad y el enraizamiento que tendrán las plantas. Por otro lado, el suelo está constituido por varias capas (horizontes) compuestas por una variedad de minerales, materia orgánica, aire y agua, que estiman distintas propiedades capaces de agruparlos en órdenes y subórdenes (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014). La clasificación de suelos estima un rango de propiedades semejantes, tanto químicas, físicas y biológicas; generando grupos de suelos que puedan ser mapeados y geo-referenciados, favoreciendo a distintos tipos de suelos según su clasificación, orden y suborden (FAO, 2017).

3.1.1. Taxonomía del suelo

La clasificación de los suelos según la Taxonomía de Suelos, los divide en varios parámetros y propiedades que se desarrollan en niveles: *Orden*, *Suborden*, *Gran Grupo*, *Subgrupo*, *Familia*, y *Serie* (Ortiz y Shaw, 2014). Estos estiman las condiciones climáticas, la meteorización y la formación del suelo. Según Munna, 2019 clasifica a los suelos en 12 órdenes como se muestra en la Figura 13, poseen distintas características como color, textura y otros aspectos.



Figura 13

Aspectos que presentan los suelos según la clasificación Soil Taxonomy.

Fuente. Adaptado de Munna, 2019.

La Tabla 1, presenta la clasificación de los suelos según los 12 órdenes con su respectiva descripción.

Tabla 1

Clasificación de la Taxonómica de Suelos

Tipo de suelo	Descripción
Gelisol	Suelo permanentemente helados.
Histosol	Suelos con alto contenido de materia orgánica (20-30 %) en los primeros 80 cm.
Espodosol	Suelos ácidos de clima húmedo con procesos de iluviación de materia orgánica con Fe y Al.
Andisol	Suelos oscuros y desarrollados a partir de materiales volcánicos y otros ricos en materiales amorfos.
Oxisol	Suelos extremadamente intemperizados y ácidos, ricos en óxidos de Fe y Al, pobres en bases, escasa cantidad de minerales alterables. Son característicos de regiones tropicales y subtropicales muy lluviosas.
Vertisol	Suelos muy fértiles, con alto contenido de arcillas expandibles que forman grietas que se abren y cierran con cambios de humedad.

Aridisol	Suelos típicos de zonas áridas, con limitada disponibilidad de agua en todo el año.
Ultisol	Suelos subtropicales y tropicales muy evolucionados y pobres en bases, con iluviación de arcillas. Últimas etapas de meteorización y evolución.
Mollisol	Suelos ricos en materia orgánica y altamente productivos. Se encuentran en estepas o praderas de Europa, Asia, Norteamérica y Sudamérica.
Alfisol	Suelos con marcados procesos de translocación de minerales arcillosos (iluviación de arcilla), sin pérdida de bases (sodio, potasio, calcio o magnesio).
Inceptisol	Suelos jóvenes con un desarrollo incipiente. Presentan agua disponible para las plantas por más de medio año o por más de tres meses consecutivos durante la estación seca.
Entisol	Son los suelos más jóvenes de esta clasificación, principalmente de composición mineral.

Fuente. Información adaptada de Munna, 2019.

3.1.2. Suelos en el Ecuador

La gran variedad de pisos altitudinales en Ecuador presenta cambios considerables a distancias cortas, esta variación se debe a una diversidad de factores como la gradiente altitudinal, la dirección de las cadenas montañosas, la distancia al Océano Pacífico, las corrientes marinas y los vientos. Si se considera que partiendo del nivel del mar la temperatura desciende aproximadamente un grado por cada 200 metros de altura, el clima tiene una fluctuación de aproximadamente 31 grados, ya que el nivel de sus tierras va desde 0 metros hasta 6310 metros sobre el nivel del mar (García y Schlatter, 2012).

El suelo ecuatoriano posee un 31% de suelos de origen volcánico, formados a partir de la actividad de varios volcanes y de materiales piroclásticos, en particular de los siguientes: Cotopaxi, Tungurahua, Sangay y Reventador. Los suelos de origen volcánico, por la productividad que disponen, representan un recurso fundamental para la agricultura en diferentes regiones (García y Schlatter, 2012).

El desarrollo de los cultivos se encuentra condicionado por la calidad del sitio, es decir, de las condiciones de clima y suelo, para lograr así una alta producción. Los suelos del Ecuador se califican cada vez más por el dominio de monocultivos de unas pocas especies de cultivos agrícolas, sean estos considerados de ciclos cortos o perennes. Entre los problemas que se imputa al monocultivo abarca la pérdida de biodiversidad, degradación de los suelos, incremento de las exigencias de agua y nutrientes, mayor exposición al ataque de plagas y enfermedades, disminución de conocimientos ancestrales, deterioro del paisaje agrario e incremento de los riesgos de pérdidas económicas (Calvache y Filgueira, 2015).

3.1.2.1. Suelos de la Provincia de Loja

El equilibrio de los suelos es fundamental para mantener la fertilidad de los mismos en equilibrio, al considerar una inadecuada relación entre el hombre y el suelo, esta armonía se rompe causando fenómenos de erosión, degradación, pérdida del suelo y de su fertilidad. Este desequilibrio es evidente en algunas áreas de la provincia de Loja, el cual, si no se adoptan las medidas correctivas pertinentes a tiempo, se incrementará su magnitud en corto plazo (Secretaría Técnica de Planificación, 2017).

La influencia de la topografía presenta variedades de pisos altitudinales y la presencia de una gran diversidad de suelos. La fertilidad o grado de nutrientes disponibles de la mayoría de los suelos presentan una elevada reserva mineral, congruentemente, tienen una fertilidad potencial alta. Al observarse en la región fuertes pendientes ocasionan el desgaste acelerado de los suelos, determinando la presencia en gran parte de la región suelos entisoles e inceptisoles que representan suelos jóvenes carentes de características a las genéticas, pero que no son necesariamente malos (Secretaría Técnica de Planificación, 2017).

La erosión acelerada de la zona está asociada a la profundidad que se tenga de los suelos, esta es común en terrenos laderosos desprovistos de una vegetación protectora. Los suelos de la provincia de Loja manifiestan de manera general las siguientes características: poseen una

significativa área de suelos aluviales bien desarrollados. Se encuentra predominio de la fracción de arcilla en los horizontes (30-50%). El pH de los suelos oscila entre neutro a alcalino (7-8) (Secretaría Técnica de Planificación, 2017).

3.1.3. Suelos Sumaypamba

La zona de estudio es considerada un área de suelos aluviales con un dominio de horizontes arcillosos (30% a 50%), topográficamente existen variaciones entre plano a inclinado con pendientes que oscilan entre los 0-30% y cuenta con zonas aptas para riego (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015).

En la parroquia Sumaypamba el potencial de fertilidad es alto ya que presentan una alta reserva de minerales. La parroquia posee un desgaste de suelo por las elevadas pendientes, la cual generalmente tiene predominancia en suelos jóvenes clasificándose en entisoles e inceptisoles. Así mismo, por la disposición de terrenos laderosos carentes de vegetación protectora, la erosión es acelerada.

En la Figura 14 se presenta el mapa de uso de suelos de la parroquia Sumaypamba, donde gran parte es suelo de conservación y protección, seguido por pecuario bovino extensivo, agrícola extensivo, improductivo y habitacional. Su predominancia es el suelo de conservación y protección, pero a nivel productivo es el pecuario bovino extensivo.

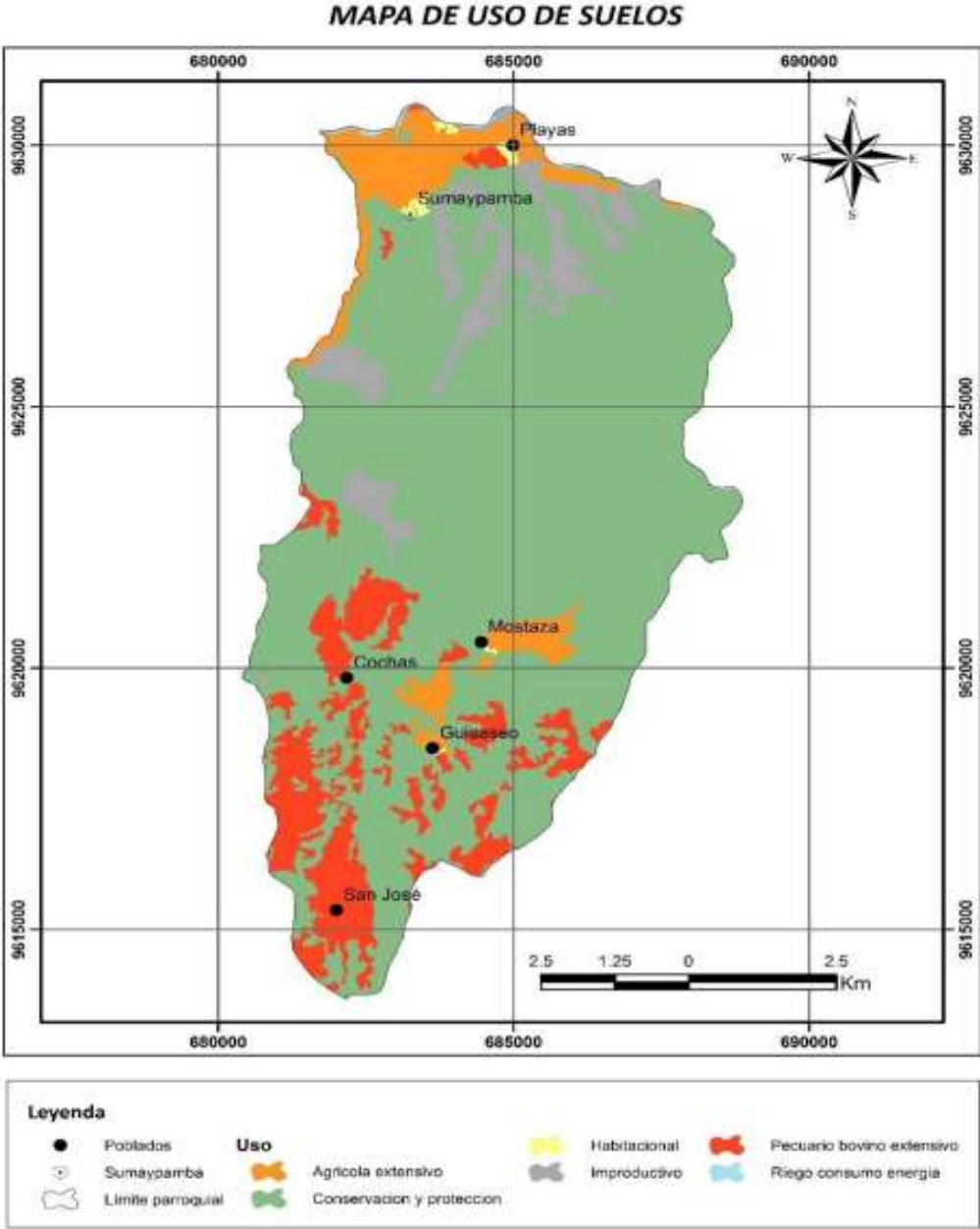


Figura 14
Mapa de usos de suelos de la parroquia de Sumaypamba

Fuente. Adaptado de la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015.

3.1.4. Tipos de suelos

En la parroquia de Sumaypamba existe una predominancia a los suelos de textura arcilloso arenoso o franco-arcillosos, tienen un espesor de menos de 20 cm por lo que son duros meteorizados y de un color rojizo; estos tipos de suelos carecen de materia orgánica (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015). En la Tabla 2, se presentan los órdenes de suelo predominantes en la zona y el área que estos ocupan, es evidente la mayor predominancia de los suelos entisoles que ocupan cerca del 82% del área de la parroquia Sumaypamba.

Tabla 2

Tipos de suelo en la parroquia de Sumaypamba

Orden	Área (ha)	%
Alfisol	1402.20	15.34
Entisol	7429.31	81.28
Inceptisol	308.80	3.38
TOTAL	9140.31	100

Fuente. Adaptado de la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015.

La Figura 15, identifica las partes donde se encuentran los tres tipos de suelos según los órdenes predominantes de la parroquia de Sumaypamba. Los suelos de orden entisol cubren un 16% de la superficie de la tierra que se encuentra libre de hielo, se puede observar generalmente estos terrenos en áreas donde las tasas de erosión son más rápidas que la tasa de desarrollo del suelo, como dunas, laderas empinadas y llanuras aluviales (Munna, 2019). Los suelos franco arcillosos del orden Entisol, poseen mayor capacidad de retención de agua que los suelos arenosos, lo que permite realizar riegos menos frecuentes (Ministerio de Desarrollo Social Gobierno de Chile [CONADI], 2017).

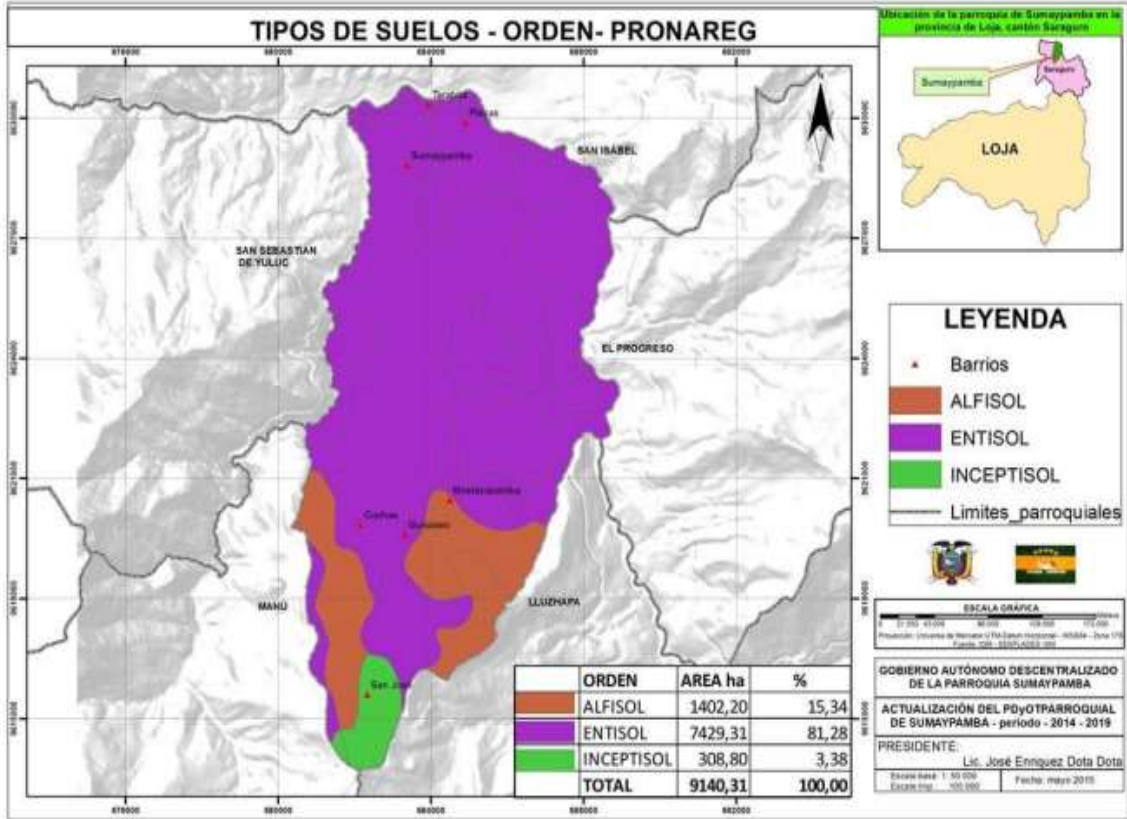


Figura 15

Mapa tipos de suelos de la parroquia de Sumaypamba

Fuente. Adaptado de la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015.

3.1.5. Cultivos en la zona de estudio

La principal actividad económica de la zona es la producción agrícola, la cual se encuentra ubicada en el área Interandina Media. La parroquia se divide en seis barrios: San José, Guisaseo, Playas - Tarabitra, Central Sumaypamba, Cochas y Mostazapamba. En estos se desarrollan determinados cultivos como maíz, yuca, camote, cebolla, frejol, hortalizas, tomate de árbol, frutales. En lo que concierne a las partes bajas de la parroquia otros cultivos como caña de azúcar, maíz, ajo, cítricos, hortalizas; debido a que dispone de tierras bajo riego y producción de secano, se siembran varios cultivos anuales. Los cultivos permanentes como pastos, mangos, bananos y caña de azúcar conforman los sistemas agroforestales (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015).

Tabla 3

Producción agrícola en la parroquia de Sumaypamba.

Barrio	Cebolla	Frejol	Maíz
San José	4500 qq	2500 sacos	1000 qq
Guisaseo	4000 qq	4000 sacos	1000 qq
Playas - Tarabitra	2800 qq	2800 sacos	2800 qq
Central Sumaypamba	3000 qq	1500 sacos	
Cochas	4000 qq	100 sacos	maíz autoconsumo
Mostazapamba			

Fuente. Adaptado de la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015.

Como podemos observar en la Tabla 3, se destaca que en la parroquia los principales cultivos transitorios más sobresalientes por superficie son la cebolla con 800 hectáreas, fréjol 20 hectáreas y maíz 60 hectáreas; y, de menor intensidad por las condiciones edafo climáticas son el trigo, la arveja, el haba y la caña. La cebolla es el cultivo que se produce en la cabecera parroquial con producciones que oscilan entre 2800 a 4000 qq (saco de 100 libras) el 80% es comercializado en el centro de acopio de la parroquia y en menor cantidad en la cabecera cantonal. En la parroquia existen frutales promisorios como el coco, el mango, la guaba, el zapote, la naranja y limón, que se encuentran de manera dispersa en las áreas de cultivos (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015). En la zona de estudio se va enfatizar en el cultivo de cebolla, ya que el área donde se lleva a cabo la investigación tiene como monocultivo este cultivo. Es importante conocer por tanto las etapas del cultivo, la duración de las etapas de crecimiento para distintos periodos de siembra y la demanda hídrica.

3.2. Cobertura Vegetal de Sumaypamba

En el mapa de la parroquia de Sumaypamba Figura 16, según la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba (2015) se puede observar como la cobertura vegetal se divide en 3 tipos: Forestal, con los subtipos: Matorral seco alto, Matorral seco bajos; Agricultura con un subtipo: Cultivos asociados andinos y Pecuario, con los subtipos: Pastizal, Pasto cultivado y otros usos que se relacionan con el Suelo erosionado.

Gran parte de los cultivos se localizan en sectores de gran pendiente, sin conexión alguna al potencial de los suelos, resultando en consecuencia una cubierta precaria, con un índice mínimo de protección hidrológica (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015).

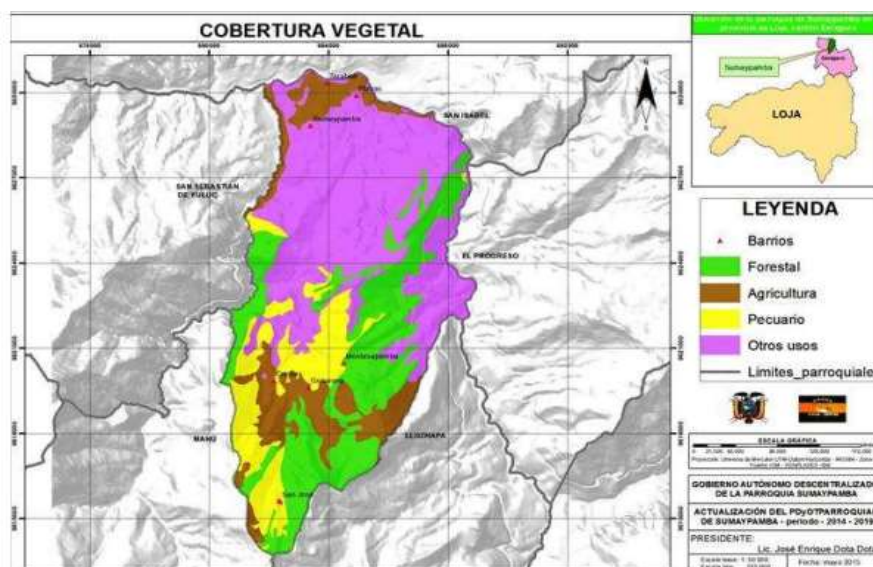


Figura 16

Mapa Cobertura Vegetal de la parroquia de Sumaypamba

Fuente. Adaptado de la Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015.

3.3. Estimación de la cantidad de agua requerida

3.3.1. Demanda Hídrica

La demanda hídrica del cultivo hace referencia a la cantidad de agua que se debe destinar al suelo para restablecer el agua absorbida por la planta y la evaporada (Petit, 2004). Se encuentra en función de distintos factores entre ellos de la textura del suelo, para determinar la cantidad de agua que requiere un determinado cultivo, se emplea la metodología desarrollada por el CONADI (2017). La ecuación (1) denota la evapotranspiración del cultivo que será igual a la demanda hídrica.

$$ET_c = E_{to} * k_c \quad (1)$$

Dónde:

- ETc: Es la evapotranspiración de cultivo y que es igual a la Demanda hídrica (mm/día).
- Eto: Es la evapotranspiración de referencia (mm/día).
- Kc: Es un factor que ajusta el valor referencial de cultivo.

3.3.1.1. Evapotranspiración (ET)

La evaporación y la transpiración son procesos físicos que se dan de manera conjunta, por lo que son complejos de distinguir. La evaporación de un suelo cultivado principalmente se determina por la fracción de radiación que alcanza la superficie; esta fracción disminuye según el ciclo del cultivo y por el incremento del dosel ya que proyecta más sombra sobre el suelo (FAO, 2006). En la etapa inicial del cultivo, el agua se disipa por evaporación directa del suelo, pero a medida que el cultivo se desarrolla y cubre la superficie del suelo, la transpiración se convierte en el principal proceso. Por lo tanto, se considera que casi el 100% de la evapotranspiración (ET) ocurre en forma de evaporación al momento de la siembra, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración (FAO, 2006). Las unidades formadoras de la evapotranspiración se dividen en milímetros (mm) por unidad de tiempo (hora, día, mes), que expresan la cantidad de agua pérdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua (FAO, 2006).

3.3.1.2. Evapotranspiración de referencia (ETo)

La evapotranspiración de referencia (ETo) es un parámetro directamente relacionado con el clima y se define como el poder evaporante que tiene la atmósfera en una localidad y época específica del año, se proporciona un estándar de evapotranspiración de diversos cultivos, sin embargo, no estima las características del cultivo, ni los factores del suelo (FAO, 2006). Los factores climáticos son los únicos que afectan la ETo, por lo tanto, es considerado un parámetro climático calculable mediante datos meteorológicos.

3.3.1.3. Modelo de Penman-Monteith (P-M)

La ecuación Penman-Monteith representa una interpretación precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración. Se basa en la definición de E_{To} y determina el coeficiente del cultivo, para ello relaciona la evapotranspiración medida del cultivo (E_{Tc}) y la E_{To} calculada (FAO, 2017). Considerando que la ecuación se encuentra en función de la veracidad de los datos climáticos, la confiabilidad de los resultados disminuye. Por ello, se recomienda utilizar la definición hipotética del cultivo de referencia sobre el que se basa la ecuación Penman-Monteith como un valor de comparación homogeneizado, de tal manera que los datos de diferentes zonas del mundo sean comparables entre sí. En la Tabla 4, se presentan valores de E_{To} promedio para diferentes regiones agroclimáticas (FAO, 2006).

Tabla 4

E_{To} promedio para diferentes regiones agroclimáticas es de mm/día

Regiones	Temperatura promedio durante el día °C		
	Templada -10°C	Moderada 20°C	Caliente >30°C
Trópicos y Subtrópicos			
Húmedos y Subhúmedos	2-3	3-5	5-7
Áridos y Semiáridos	2-4	4-6	6-8
Regiones Templadas			
Húmedas y Subhúmedas	1-2	2-4	4-7
Áridas y Semiáridas	1-3	4-7	6-9

Fuente. Adaptado de Allen et al., 2006.

De acuerdo a la ubicación y tipo de suelo, el área de estudio posee características similares a la región templada con zonas áridas y semiáridas. La temperatura promedio de la zona es de 20°C, por lo que se la incluye dentro de la categoría de temperatura moderada. Considerando que el tipo suelo de mayor predominancia es de orden Entisol, por lo que, según la Tabla 4, el coeficiente de evapotranspiración varía de 4 a 7. Para efecto de la presente investigación se considera una media del coeficiente con un valor de 5.5 en su utilización para cultivo de cebolla.

3.3.2. Coeficiente de cultivos referencial (Kc)

El coeficiente de cultivos referencial corresponde al factor de Kc, representa la recopilación de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia (FAO, 2006). En la *Tabla 5*, se presentan los coeficientes de cultivos referenciales centrándose en la cebolla en sus diferentes etapas para poder determinar la demanda hídrica. La CONADI (2017) menciona que el cultivo de cebolla posee varias etapas: inicial, desarrollo, medios y finales. En este trabajo se consideran valores promedios entre los rangos de coeficientes de cultivo referencial en cada etapa, por lo que se emplearán los valores 0.50, 0.75, 1.04 y 0.87, para las etapas inicial, desarrollo, medios y finales respectivamente.

Tabla 5

Coeficientes de Cultivos Referenciales predominantes en la zona de estudio

Coeficientes de cultivos referencial (valor Kc)				
	Inicial	Desarrollo	Medios	Finales
Cebolla (allium cepa L)	0.40-0.60	0.70-0.80	0.95-1.10	0.85-0.90
Cebolla verde	0.40-0.60	0.60-0.75	0.95-1.05	0.95-1.10
Maíz	0.30-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	0.80-0.95

Poroto	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.70
---------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fuente. Adaptado de CONADI, 2017.

3.3.2.1. Duración de las etapas de crecimiento del cultivo

El periodo de siembra en la zona considerado es desde el mes de octubre, ya que es, donde comienza el periodo más crudo por la escasez del agua en los canales de riego que se toma del río león para el área estudiada. El cultivo de cebolla tiene una duración de 210 días desde su etapa inicial de siembra hasta su etapa final y posterior cosecha. En la *Tabla 6* se muestra el periodo de tiempo (días) que tiene cada etapa del cultivo.

Tabla 6

Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)

Cultivo	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Total	Fecha de siembra	Región
Cebolla	20	35	110	45	210	Octubre, Enero	Región Árida

Fuente. Adaptado de Allen et al., 2006.

En la Figura 17 se puede observar el periodo correspondiente a cada etapa desde su inicio hasta finalizar en temporada de cosecha.

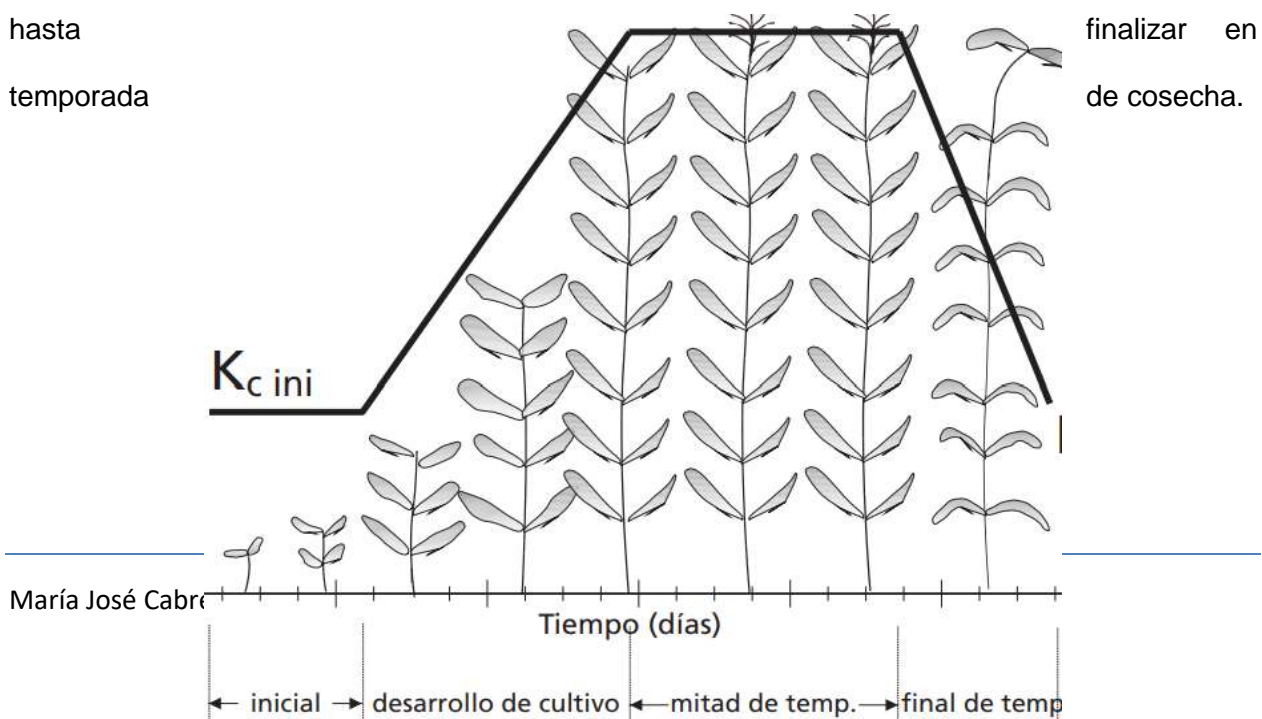


Figura 17

Desarrollo de la planta en las 5 etapas establecidas

Fuente. Adaptado de Allen et al., 2006.

3.3.3. Demanda hídrica de los cultivos (ETc)

La demanda hídrica de los cultivos (ETc), corresponde a la evapotranspiración del cultivo con el suelo y se determina mediante lisímetros, sin embargo, a falta de estos se determina haciendo uso de la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente hídrico Kc del cultivo objetivo (García et al., 2017).

La demanda hídrica teórica (KTc) de la zona de estudio se calculó a partir de la ETo y el Kc de las tablas de FAO (2006). En la Tabla 7 se presenta el coeficiente de cultivos referencial del cultivo de cebolla en todas sus etapas de desarrollo, estos datos contribuirán en la determinación de la evapotranspiración del cultivo en sus fases.

Tabla 7

Promedio de ETc en el suelo de la zona de estudio en diferentes etapas del cultivo al día

Evapotranspiración de referencia (ETo) (mm/día)	Coeficiente de cultivos referencial (Kc)		Demanda Hídrica (ETc) (mm/día)		
			Promedio		
4 - 7	0.40-0.60	Inicial	$5.5 * 0.5$	=	2.75 mm/día
4 - 7	0.70-0.80	Desarrollo	$5.5 * 0.75$	=	4.125 mm/día

4 - 7	0.95-1.10	Medio	$5.5 * 1.03$	=	5.66 mm/día
4 - 7	0.85-0.90	Final	$5.5 * 0.87$	=	4.785 mm/día

La Tabla 8 presenta el cálculo de la demanda hídrica para cada etapa del cultivo de cebolla seca.

Tabla 8

Promedio de ETc en el suelo de la zona de estudio en diferentes etapas del cultivo mensual

Etapa	Cálculo	Demanda Hídrica por etapa de cultivo
Inicial	$2.75 \text{ mm/día} * 20 \text{ días}$	= 55mm/etapa completa
Desarrollo	$4.125 \text{ mm/día} * 35 \text{ días}$	= 144.37 mm/ etapa completa
Medio	$5.66 \text{ mm/día} * 110 \text{ días}$	= 622.6 mm/ etapa completa
Final	$4.785 \text{ mm/día} * 45 \text{ días}$	= 215.33 mm/ etapa completa de cultivo
Suma de las etapas de la Demanda Hídrica en la zona de estudio		1037.3 mm/etapa de cultivo (210 días)

La demanda hídrica en toda la etapa del cultivo desde su inicio hasta su cosecha es de 1037.3 mm/etapa de cultivo (210 días). La demanda hídrica teórica de cultivo para 210 días de

3.3.4.1 Datos INAMHI Precipitación

El INAMHI en su anuario Meteorológico 2013, posee datos desde el año 2000 hasta 2015 en la provincia del Oro Tabla M 0481 Uzhcurrumi Pasaje, de los cuales se toma los meses de siembra propuestos, que son de octubre a abril. En la Tabla 9, se presenta el promedio anual de la precipitación considerando los valores máximos diarios mensuales, obteniendo un promedio general para la estimación de la precipitación en la zona estudiada (anexo 7 gráfica).

Tabla 9

Precipitación promedio desde el año 2000 a 2015.

Año	Unidad	Promedio
2000	mm	439.8
2001	mm	462.3
2002	mm	383.3
2003	mm	99
2004	mm	383.5
2005	mm	419.9
2006	mm	403.2
2007	mm	393.6
2008	mm	434.2
2009	mm	568.6
2010	mm	323.5
2011	mm	512.2

2012	mm	401.9
2013	mm	556.2
2014	mm	326.7
2015	mm	373.3
Prom 2000 a 2015		423.1

Fuente. Adaptado de INAMHI, 2013.

El máximo de precipitación según la estación M 0481 Uzhcurrumi durante los meses de siembra es de 423.11 mm en etapa de cultivo, es decir, 4231.1 m^3/ha . Favoreciendo la disminución de la demanda hídrica teórica de 10439 m^3/ha en la etapa de cultivo, obteniendo un valor de demanda hídrica real de 6207.9 m^3/ha en 210 días de cultivos como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10

Demanda Hídrica Real

Demanda Hídrica Teórica	Precipitación	Demanda Hídrica Real
10373 m^3/ha	4231.1 m^3/ha	= 6141.9 m^3/ha

La demanda hídrica real, corresponde a un requerimiento hídrico diario de 1.21 m^3/ha . En la parroquia de Sumaypamba, el riego de agua a los sembríos en la zona de estudio se establece por horas, se estima necesario 12 horas de riego al día. Por lo que la demanda hídrica real para 12 horas es de 0,609 m^3/ha en doce horas de riego.

3.4. Reservorio

Los reservorios de agua se forman en un espacio físico para el almacenamiento continuo de agua de buena calidad, que permite un suministro durante las sequías como para el turno de riego. Generando el volumen de agua suficiente para regar períodos prolongados de tiempo. Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos (Quintero, 2017).

3.4.1. Datos del reservorio

3.4.1.1. Volumen del Reservorio

A partir de los datos de demanda hídrica real $6207,9 \text{ m}^3/\text{ha}$, necesarios para el cultivo de cebolla en su etapa completa, se considera que en una jornada al día de riego se necesita de $0.609 \text{ m}^3/\text{ha}$ de agua para el riego del cultivo, teniendo en cuenta que se propone un almacenamiento para 10 hectáreas de la zona, el reservorio debería tener un volumen de 6.09 m^3 para un riego de 10 hectáreas. Por lo que el almacenamiento de agua propuesto sin contar las pérdidas por infiltración y evapotranspiración es de 6090 lt para diez hectáreas de cultivo. Considerando el consumo de agua para los cultivos según los agricultores de la zona, el análisis efectuado cumple con la estimación de agua requerida que es de $0.40 \text{ m}^3/\text{ha}$ en una jornada de riego al día, es decir, 4000 lt para diez hectáreas al día.

3.4.1.2. Ubicación del Reservorio

La ubicación propuesta para reservorio se muestra en la Figura 19, donde la Tabla 11 cita las coordenadas de una potencial zona para implementarlo ya que se considera óptimo el lugar por su altura conceptuando la ubicación de la zona agrícola.

Tabla 11

Coordenadas del sitio propuesto para el reservorio

Latitud	3°21'8" S
----------------	-----------

Longitud	79°19'41" O
----------	-------------



Figura 19

Ubicación de Reservorio

Fuente. Adaptada de Google Earth, 2023.

Capítulo 4: Análisis de Datos Meteorológicos

En esta sección se analizan los datos meteorológicos registrados por la estación localizada en San Sebastián de Yúluc, considerando los sensores relacionados con este trabajo. Además, se verifican los parámetros necesarios para el diseño del sistema de riego a base de energías renovables y se evalúa el recurso tanto de viento como de sol.

4.1 Localización del Área de Estudio

La parroquia de Sumaypamba está ubicada a 80 kilómetros de Saraguro, el clima de la zona es templado-seco, con un rango altitudinal bastante variado de 930 hasta los 3500 msnm y ocupa una superficie de 71,77 km². En la parroquia habitan aproximadamente 1.594 personas de las cuales 769 son hombres y 825 son mujeres (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba, 2015). Limita al Norte con la provincia del Azuay, al Sur con las parroquias Manú y Lluzhapa, al Este con las parroquias Lluzhapa y Santa Isabel (provincia del Azuay), y al Oeste con la parroquia San Sebastián de Yúluc. La zona de estudio tiene una superficie de 10.000 m², la radiación solar máxima es de 620 W/m² y la velocidad del viento máxima es de 10.78 m/s (Electro Generadora del Austro [ELECAUSTRO S.A.] (2019). En la Figura 20 se observa el mapa de ubicación del sector mencionado.

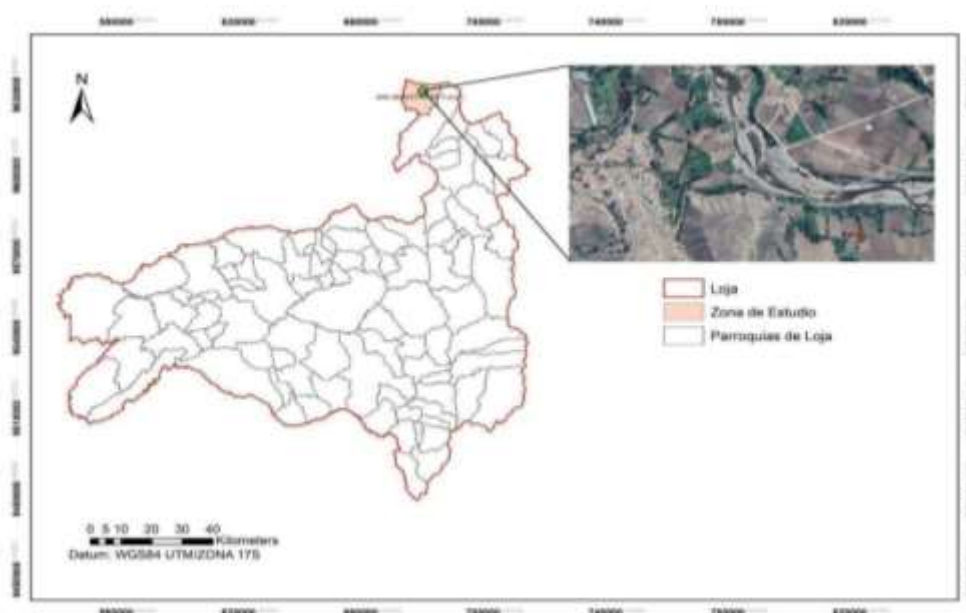


Figura 20

Mapa de ubicación del área de estudio

4.2. Tipo de estación

Los datos meteorológicos que se emplean en este trabajo corresponden a la estación meteorológica localizada en San Sebastián de Yúluc ubicada a 8.3 km de Sumaypamba. Se ubica en las coordenadas S 003° 21.542' W 079° 23.091', a una altitud de 1182 m.s.n.m. Esta estación fue instalada por la empresa de ELECAUSTRO S.A. con la intención de registrar información para el proyecto eólico Minas de Huaschaca. El registro de datos es de forma automática y los datos son descargados de manera manual. Al momento la estación ha sido desmontada por parte de la empresa.

4.1.1. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos disponibles tienen un registro anual desde el año 2012 hasta el 2021. En el presente trabajo, para la modelación se han utilizado los datos de los últimos 4 años. Las especificaciones de la medición de los registros históricos de interés para esta estación meteorológica se evidencian a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12

Especificaciones de datos meteorológicos

Años de medición	Altura de la torre	Alturas de medición
2018	80 m	Viento: 80, 50 y 30 m.

2019	Dirección del viento: 80, 50 y 30 m. Temperatura: 5m. Radiación solar: 5m Presión atmosférica: 5m. Humedad relativa: 5m
2020	
2021	

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

4.1.2. Sensores utilizados en la estación meteorológica de San Sebastián de Yúluc

La estación meteorológica cuenta con 15 sensores para el registro de datos. A continuación, en la Tabla 13 se detallan los sensores distribuidos por número de canales en el data logger con las características de NRG SYSTEMS, modelo Symphonie Plus 3, de 15 canales de datos, con un módulo de transferencia de información modelo Symphonie iPack. La Figura 21, muestra la torre que contiene los diferentes sensores.

Tabla 13

Tipo de sensores en los canales de la estación de Yúluc

Estación:	Especificaciones del sensor YULUC 80
Canal de sensor 2 y 3	Velocidad del viento Sensor: Anemómetro - altura: 50 y 30 m. - descripción: anemómetro NRG #40C Anem m/s - unidad: m/s
Canal de sensor 4 y 5	Dirección del viento Sensor: Veleta - altura: 80 y 50 m. - descripción: NRG 200P Vane deg - unidad: grados
Canal 6	Presión atmosférica Sensor: Barómetro - altura: 5 m. - descripción: NRG BP20 Baro mb - unidad: milibares
Canal 8	Dirección del viento

	Sensor: Veleta - altura: 30 m. - descripción: NRG 200P Vane deg - unidad: grados
Canal 9	Temperatura ambiente Sensor: Termómetro - altura: 5 m. - descripción: NRG 110S Temp C - unidad: grados centígrados
Canal 10	Humedad relativa Sensor: Higrometro - altura: 5 m. - descripción: NRG RH5X Humi %RH - unidad: porcentaje de humedad relativa
Canal 12	Radiación solar Sensor: Piranómetro - altura: 5 m. - descripción: LI-COR Pyra W/sqm - unidad: vatios sobre metros cuadrados
Canal 13, 14 y 15	Velocidad del viento Sensor: Anemómetro - altura: 80, 50 y 30 m. - descripción: anemómetro NRG #40C Anem m/s - unidad: m/s

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

4.1.3. Estándares de medición

Las mediciones de las variables meteorológicas para el Proyecto Eólico Huascachaca se llevaron a cabo de acuerdo con la Norma IEC 61400-12-1 Sistemas de generación de energía eólica. Parte 12-1: Medida del rendimiento energético de los aerogeneradores que producen electricidad. La norma abarca las siguientes consideraciones: Tipo de mástil hace referencia a la torre meteorológica, consideraciones del terreno, obstáculos, inclinación de la torre, altura de los anemómetros y otros elementos de medición, distancia entre anemómetros, orientación de anemómetros, redundancia de anemómetros para respaldo, consideraciones similares para

veletas, brazos para elementos de medición, y registro de datos (Asociación Empresarial Eólica, 2022).

4.1.4 Sensores considerados en el estudio

En las Tablas 14, 15 y 16 se presentan los datos proporcionados por ELECAUSTRO, correspondientes a la estación de Yúluc 80, en las cuales se presentan las características principales de cada canal de sensor y sus datos más importantes. Las variables consideradas fueron velocidad del viento, temperatura ambiente y radiación solar.

a. Velocidad del viento

Tabla 14

Datos proporcionados por ELECAUSTRO, velocidad del viento

Variable	Valor
Sensor velocidad del viento	2
Años	2018- 2019-2020-2021-2022
Descripción	NRG #40C Anem m/s
Altura	30 m
Factor de escala	0.763
Número de serie	195820
Unidades	m/s

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

b. Temperatura ambiente

Tabla 15

Datos proporcionados por ELECAUSTRO, temperatura ambiente

Variable	Valor
Sensor temperatura ambiente	9

Años	2018- 2019-2020-2021-2022
Descripción	NRG 110S Temp C
Altura	5 m
Factor de escala	0,136
Unidades	C°

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

c. Radiación Solar

Tabla 16

Datos proporcionados por ELECAUSTRO, radiación solar

Variable	Valor
Sensor de radiación solar	12
Años	2018- 2019-2020-2021-2022
Descripción	LI-COR Pyra W/sqm
Altura	5 m
Factor de escala	1,269
Unidades	W/sqm

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

4.2. Datos proporcionados ELECAUSTRO.

Se analizó los datos proporcionados por la empresa ELECAUSTRO, de enero del 2018 a diciembre del 2021, en las Tablas 17, 18, 19, 20, se proporcionan datos promedios mensuales de las variables relacionadas con cada sensor, para cada año que se realizó la medición. En el 2020 se tiene una irregularidad de datos desde el mes de junio a diciembre dando como resultado cero.

Tabla 17

Valores promedio de cada sensor del año 2018

Año 2018			
Mes	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 2 colocado a 50 m m/s	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 3 colocado a 30 m m/s	Promedio mensual radiación solar canal del sensor 12 colocado a 5 m W/m ²
Enero	4.6476	4.5617	543.4
Febrero	4.5944	4.5340	620.1
Marzo	4.4435	4.2895	587.8
Abril	4.3783	4.3711	420.4
Mayo	3.7409	3.7122	346.7
Junio	5.6909	5.6701	274.5
Julio	6.9500	6.9419	554.9
Agosto	7.2533	7.2150	392.7
Septiembre	5.5917	5.5843	415.9
Octubre	4.4310	4.3693	563.9
Noviembre	4.6735	4.5405	515.5
Diciembre	4.7360	4.6228	386.9
Promedio anual	5.0942	5.0343	468.6

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., 2018.

Tabla 18*Promedio de cada sensor del año 2019*

Año 2019			
Mes	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 2 colocado a 50 m m/s	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 3 colocado a 30 m m/s	Promedio mensual radiación solar canal del sensor 12 colocado a 5 m W/m²
Enero	5.0455	4.9655	208.7
Febrero	3.8851	3.8582	357.6
Marzo	4.5627	4.5133	407.3
Abril	4.2304	4.1836	370.7
Mayo	3.9441	3.9049	393.5
Junio	6.2918	6.2725	433.4
Julio	6.1803	6.1655	494.9
Agosto	9.2288	9.1188	368.2
Septiembre	6.1856	6.1737	467.3
Octubre	4.3788	4.2831	309.8
Noviembre	4.4829	4.3317	524.3
Diciembre	4.4333	4.3611	488.6
Promedio anual	5.2374	5.1776	402.1

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., 2019.

Tabla 19*Promedio de cada sensor del año 2020*

Año 2020			
Mes	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 2 colocado a 50 m m/s	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 3 colocado a 30 m m/s	Promedio mensual radiación solar canal del sensor 12 colocado a 5 m W/m²
Enero	5.0710	4.9957	352.4
Febrero	4.7506	4.6290	381.7
Marzo	4.8700	4.8200	392.7
Abril	4.102	4.036	308.8
Mayo	4.5479	4.4534	402.9
Junio	4.6189	4.5503	385.9
Julio	4.8914	4.8270	0.000
Agosto	6.2620	6.2488	0.000
Septiembre	4.9897	4.8910	0.0000
Octubre	5.3729	5.2679	0.0000
Noviembre	4.4660	4.3494	0.0000
Diciembre	4.3148	4.1517	0.0000
Promedio anual	4.8547	4.7683	370.7

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., 2020.

Tabla 20*Promedio de cada sensor del año 2021*

Mes	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 2 colocado a 50 m m/s	Promedio mensual velocidad del viento canal del sensor 3 colocado a 30 m m/s	Promedio mensual radicación solar canal del sensor 12 colocado a 5 m W/m²
Enero	3.9391	3.8481	202.4
Febrero	4.4574	4.3325	296.5
Marzo	3.6644	3.6150	304.8
Abril	3.9203	3.8850	406.5
Mayo	4.2598	4.2395	341.1
Junio	3.8846	3.9846	378.6
Julio	6.0702	6.0210	434.6
Agosto	5.7575	5.7407	351.1
Septiembre	5.1684	5.1279	390.8
Octubre	4.0089	3.9236	414.5
Noviembre	4.1828	4.0784	438.8
Diciembre	4.0763	3.9734	488.9
Promedio anual	4.4491	4.3974	370.7

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., 2021.

4.2.1. Parámetros Analizados

Los parámetros analizados en el estudio se basan en la importancia al momento de usar el software para el modelado del diseño, por lo que se consideró la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la radiación solar.

4.2.1.1 Velocidad del viento

La velocidad del viento es un parámetro variable que mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados; al incrementar su altura la velocidad aumenta, se considera importante al momento de determinar la producción de energía que deberán tener los aerogeneradores (De la Cruz et al., 2018). Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s).

El anemómetro es el instrumento utilizado para medir la velocidad del viento como se muestra en la Figura 21. Se encuentra coronado por la veleta que determina la dirección del viento. Existen varios tipos de anemómetro, siendo el más común el de cazoletas.



Figura 21

Anemómetro de cazoletas y la veleta.

Fuente; <https://www.interempresas.net/>

4.2.1.2. Temperatura ambiente

La temperatura es el rango a la que se considera una variable como índice indicativo del enfriamiento o del calentamiento que se encuentra el aire resultado de un intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra, que influye en la eficiencia de conversión de energía solar-fotovoltaica a energía eléctrica (Casanova et al., 2021).

4.2.1.3 Radiación solar

La energía emitida por el sol llega a la tierra en forma de ondas. Estas tienen una longitud de onda que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

La densidad de potencia del sol hace referencia a la potencia por unidad de área, cuando se encuentra por encima de la atmósfera terrestre. La medición de radiación solar llega a la superficie de la tierra y dispone de tres componentes: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada por la superficie terrestre, como se puede observar en la Figura 22.

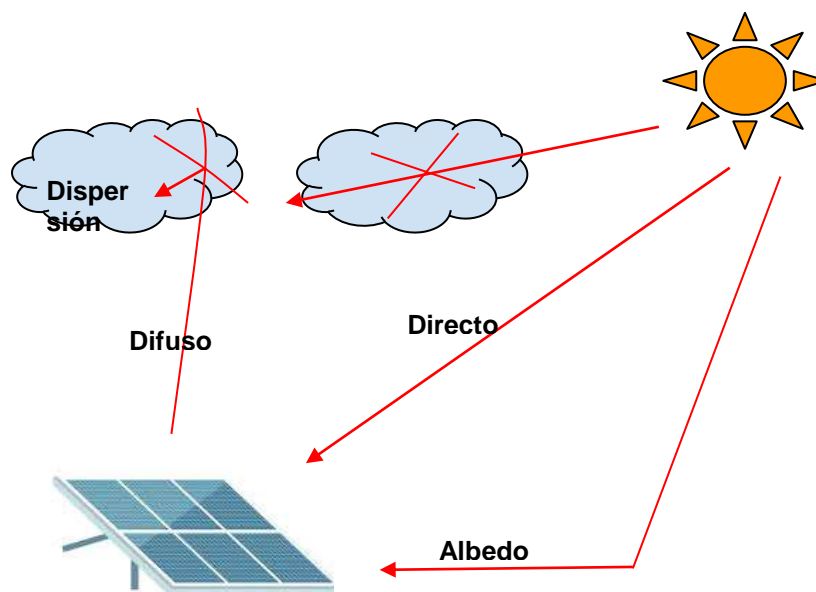


Figura 22

Radiación solar que llega a la superficie de la Tierra

4.3 Análisis del comportamiento de las variables meteorológicas en la zona de estudio

4.3.1 Radiación Solar

La determinación del recurso solar disponible en la zona de estudio se desarrolla mediante el procesamiento de información histórica en diferentes lugares cómo es San Sebastián de Yúluc, que corresponde a una zona aledaña de la estación meteorológica. El comportamiento de la irradiancia del sensor número 12 a una altura de 5 m con los datos del 2018 al 2021 como se observa en la Tabla 21 del recurso solar son datos promedios anuales, que presenta similitudes en el registro diario. Basándonos en la Figura 23, los mayores valores registrados ocurren entre las 10:20:00 am y 13:40:00 pm.

Tabla 21

Datos de radiación solar (W/m^2)

	Años				Promedio anual
	2018	2019	2020	2021	
Máximo	675.414	617.521	662.010	618.315	643.315
Horas Pico Solares (HSP)	4.507	4.236	4.148	3.988	4.220

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

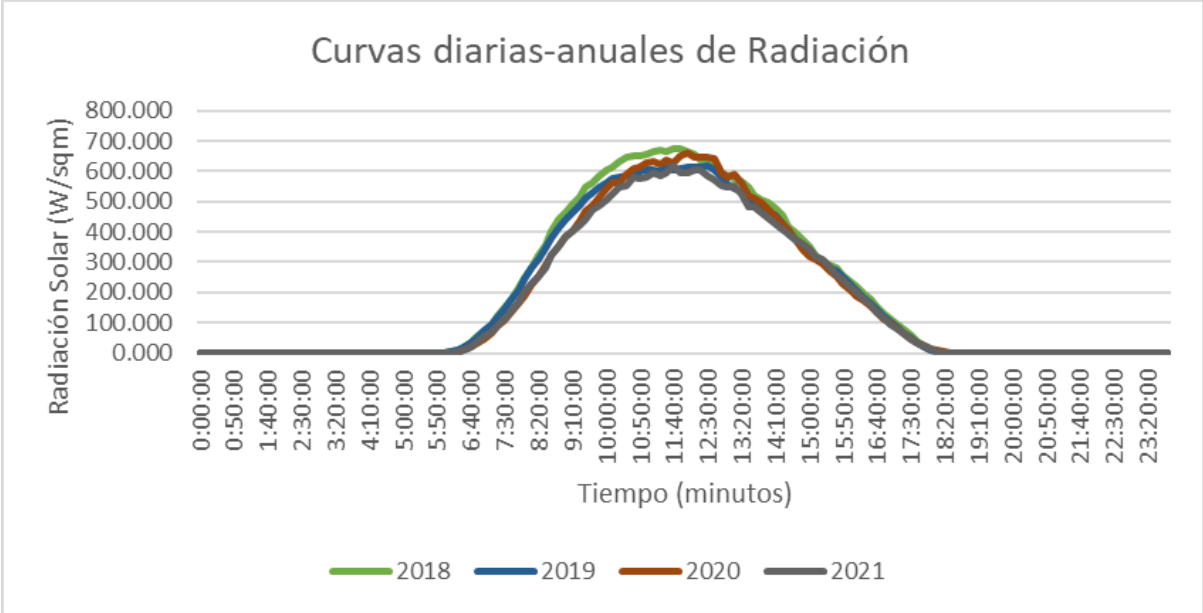


Figura 23
Curvas diarias anuales de radiación

4.3.2. Velocidad del viento

La determinación del recurso eólico disponible en la zona de estudio se desarrolla mediante el procesamiento de información histórica asociada al anemómetro localizado a una altura de 30 m. Se escogió este sensor debido a que es el sensor más próximo a la superficie del terreno. Los datos presentados en la Tabla 22 son valores promedios y máximos mensuales anuales.

Tabla 22
Recursos de velocidad del viento

	Años				
	2018	2019	2020	2021	Promedio general
Mediana Promedio (m/s)	3.89	4.18	3.72	3.10	3.72
Máximo (m/s)	10.78	10.48	10.27	9.81	10.33

Fuente. Adaptada de ELECAUSTRO., s/f.

En la (Figura 24) se presenta el comportamiento de la velocidad promedio anual máxima para los cuatro años analizados. Se aprecia que los valores máximos ocurren entre las 12:20:00 y 15:40:00.

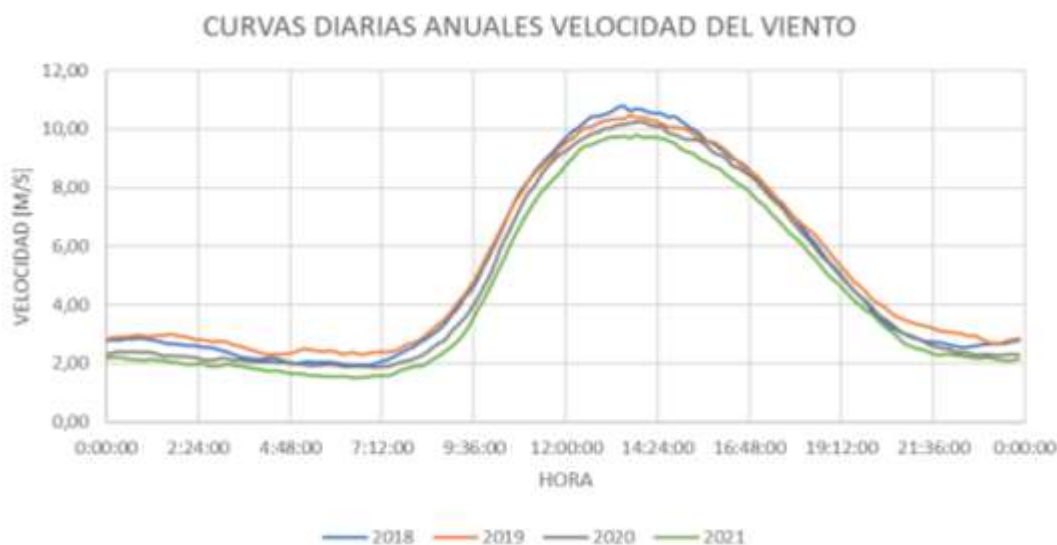


Figura 24

Curvas diarias anuales velocidad del viento

4.3.2.1 Ley Exponencial de Hellmann

La velocidad del viento tiene una variación exponencial en relación a la altura sobre el suelo según explica la Ley Exponencial de Hellmann (Mendoza, 2018). Al conocer la velocidad del viento a una determinada altura, se puede estimar la velocidad correspondiente en otras

alturas. La ecuación (2) permite obtener la velocidad del viento a la altura h partiendo del conocimiento de la velocidad a 30 m sobre el suelo.

$$V_h = V_{30} * \left(\frac{h}{30}\right)^\alpha \quad (2)$$

Donde:

- V_h : Velocidad del viento a la altura h (m/s)
- h : Altura (m)
- V_{30} : Velocidad del viento a 30 metros de altura (m/s)
- α : Exponente de Hellmann que varía con la rigurosidad del terreno y cuyos valores están indicados en la Tabla 23.

Tabla 23

Valores del Exponente de Hellmann en función de la rigurosidad del Terreno

Tipo de Terreno	Valor del Exponente de Hellmann (α)
Lugares llanos con hielo o hierba	0.663
Lugares llanos(mar, costa)	0.14
Terrenos poco accidentados	0.812
Zonas Turísticas	0.02
Terrenos accidentados o bosques	0.076
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.62

Fuente. Adaptada de (Mendoza, 2018).

Se consideró el valor del exponente de Hellmann para la zona de estudio como terrenos accidentados o bosque por las condiciones de la zona ($\alpha = 0.076$). Al reemplazar este valor en la ecuación (7), se determina el valor de la velocidad para una altura de 15 m. Se escoge una altura de 15 m pues se propone analizar el potencial eólico para localizar el aerogenerador de baja potencia. En la Tabla 24 se observa el promedio mensual para los 4 años analizados aplicando la ley de Hellmann.

Tabla 24

Promedio mensual de la Velocidad del Viento aplicando la Ley de Hellmann a 15 m para los años 2018, 2019, 2020 y 2021.

Mes	Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s)
Enero	2.641
Febrero	2.604
Marzo	2.556
Abril	2.483
Mayo	2.069
Junio	3.291
Julio	3.221

Agosto	4.035
Septiembre	3.274
Octubre	2.505
Noviembre	2.664
Diciembre	2.966
Promedio anual	2.916

4.3.2.2 Análisis de la Distribución de Weibull

En la mayoría de los casos de interés energético, la distribución de probabilidad de viento, sigue aproximadamente la función densidad de probabilidad de Weibull (Mendoza, 2018). La función densidad de probabilidad $P(v)$ correspondiente a la ley de Weibull requiere definir dos parámetros: el factor de forma k y el factor de escala c . Un análisis de frecuencias del viento permite conocer la forma de distribución de los datos y obtener su porcentaje de probabilidad de ocurrencia. La distribución de Weibull es una distribución usualmente empleada en meteorología para el análisis de velocidad del viento. Su expresión matemática se muestra en la ecuación (3).

$$P_{(v)} = \left(\frac{k}{c}\right) * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (3)$$

Donde:

- $P(v)$: Función de densidad de probabilidad de Weibull
- k : Factor de forma
- c : Factor de escala (m/s)
- v : Velocidad promedio del viento (m/s)

El parámetro k representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un periodo de tiempo, mientras que el parámetro c tiene unidades de m/s y está relacionado con la media de la velocidad del viento.

Estos dos parámetros son ajustables y pueden adoptar formas muy variadas, lo que le confiere gran versatilidad y capacidad de adaptarse a las diferentes formas de los datos (Mendoza, 2018). El parámetro k y c se pueden obtener mediante las ecuaciones (4) y (5) respectivamente.

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1.086} \quad (4)$$

Donde:

- σ : Desviación estándar (m/s)
- V_m : Velocidad media del viento (m/s)

$$c = \frac{V_m * \left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)}{y} \quad (5)$$

Donde:

- V_m : Velocidad media del viento a 15 metros de altura (m/s)
- y : Función gamma

El programa RStudio versión 4.2.0 (2022) permite buscar el desarrollo integrado en la programación estadística, logrando encontrar la función gamma (y) para usar la distribución de Weibull. Se consideró el test de Anderson - Darling en Rstudio, el cual estima una prueba de

bondad de ajuste para determinar si los datos siguen una distribución normal y cómo se acomodan a la distribución de Weibull. El test de Anderson - Darling analizó los datos propuestos en el programa, dando como resultado un valor para la función gamma (γ) de 0.34, cumpliendo con lo establecido en el test para implementar la distribución de Weibull.

En la Tabla 25 se presentan los datos de desviación estándar y velocidad media del viento. Estos parámetros en conjunto con la ecuación (4) permite definir el factor de forma k , siendo su valor igual a 1.17

Tabla 25

Factor de Forma

Desviación estándar (m/s)	Velocidad media del viento (m/s)
2.520	2.916

En la Tabla 26 se presentan los datos de factor de forma, función gamma y velocidad media del viento calculada con la ecuación (5). El factor de escala (c) calculado es igual a 4.61 m/s.

Tabla 26

Factor Escala

Factor Forma (k)	Función Gamma Anderson - Darling Test RStudio p-value (γ)	Velocidad media del viento m/s (Vm)
1.17	0.34	2.916

En la Figura 25 se presenta el gráfico de la distribución de Weibull mediante el uso de los parámetros calculados previamente para los cuatro años seleccionados, demostrando que tan probable las velocidades asumidas se repitan con mayor frecuencia en la zona de estudio. Para ello se evaluó la frecuencia en la Tabla 27 para velocidades entre (0 - 0.1) a (7.4 - 7.5), observando que la velocidad de viento que tiene una mayor confiabilidad de repetición en la zona de estudio es de 2.6 - 2.7 m/s.

Tabla 27

Frecuencia de velocidad de viento en la variable establecida

Variable de Velocidad	Frecuencia Absoluta	Variable de Velocidad	Frecuencia Absoluta
0.0 - 0.1	0	4.0 - 4.1	2

0.2 - 0.3	1	4.2 - 4.3	2
0.4 - 0.5	0	4.4 - 4.5	0
0.6 - 0.7	0	4.6 - 4.7	3
0.8 - 0.9	0	4.8 - 4.9	1
1.0 - 1.1	0	5.0 - 5.1	2
1.2 - 1.3	1	5.2 - 5.3	1
1.4 - 1.5	3	5.4 - 5.5	1
1.6 - 1.7	3	5.6 - 5.7	1
1.8 - 1.9	10	5.8 - 5.9	1
2.0 - 2.1	10	6.0 - 6.1	0
2.2 - 2.3	18	6.2 - 6.3	0
2.4 - 2.5	24	6.4 - 6.5	2
2.6 - 2.7	38	6.6 - 6.7	0
2.8 - 2.9	25	6.8 - 6.9	1
3.0 - 3.1	18	7.0 - 7.1	0
3.2 - 3.3	10	7.2 - 7.3	2
3.4 - 3.5	2	7.4 - 7.5	3
3.6 - 3.7	4		
3.8 - 3.9	4		

Fuente. Elaboración propia

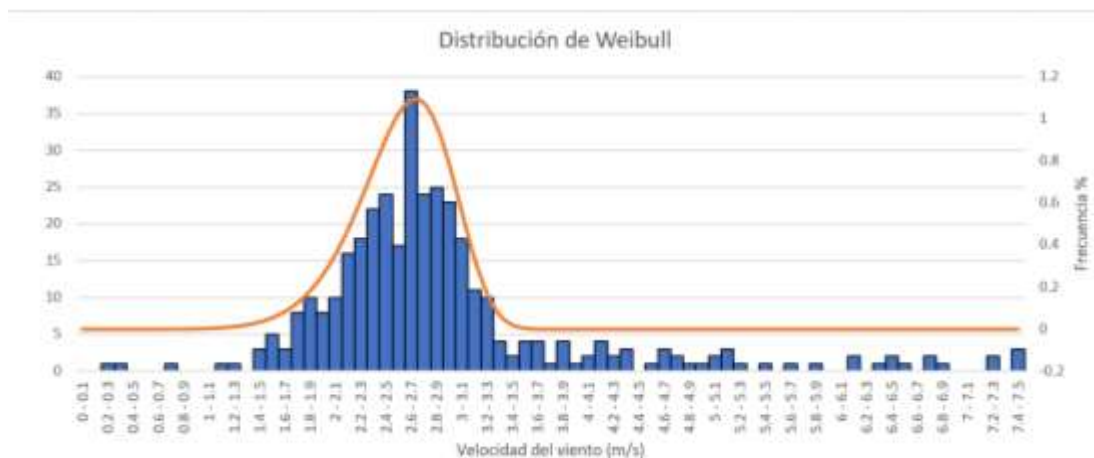


Figura 25

Gráficas de la Distribución de Weibull para los años 2018,2019,2020 y 2021.

4.4. Recursos Analizados para un sistema de bombeo con energías fotovoltaica / eólica

Para el diseño de un sistema de bombeo mediante energías solar y eólica se toman en cuenta varias opciones que cumplan los parámetros para escoger la bomba de riego adecuada. Con el

cual se pueda trasladar agua con un volumen suficiente para satisfacer las necesidades agrícolas de la zona estudiada.

4.4.1. Sistema de bombeo

Según los cálculos realizados en el capítulo 3 con referencia a la cantidad de agua necesaria es $0.609 \text{ m}^3/\text{ha}$. Se tomó en cuenta las características de la zona de estudio como la altitud entre los puntos, la distancia y la cantidad de agua donde sería óptima la instalación del sistema de bombeo, considerando el traslado del agua desde el punto de la orilla del río al punto del reservorio. Se posicionó la ubicación geográfica de ambos puntos mediante Google Earth como se observa en la Figura 26, indicando la zona de estudio: el reservorio se encuentra en coordenadas: $3^{\circ}21'07.61''\text{S } 79^{\circ}19'40.93''\text{O}$, que presenta una elevación 979 msnm y el río: $3^{\circ}20'57.55''\text{S } 79^{\circ}19'40.69''\text{E}$, con una elevación 959 msnm. En base al análisis del lugar donde estaría el reservorio, la cantidad de agua y la distancia desde el punto del río con el punto reservorio, se determina una bomba adecuada para satisfacer las necesidades.

Para determinar la bomba más adecuada se necesitan, la distancia entre los dos puntos que vamos a trasladar el agua que es 200 m, la diferencia de alturas entre el río y la zona de estudio que es 20 m, necesitando trasladar la cantidad de agua a una distancia de 220 m y la cantidad de agua se estima para una jornada al día de riego de $0.609 \text{ m}^3/\text{ha}$.



Figura 26

Ubicación de Reservorio

Fuente. Adaptada de Google Earth, 2023.

Para encontrar la bomba adecuada de acuerdo a los parámetros establecidos, se considera el catálogo de la empresa Tecni-green Tabla 28. La empresa usa litros como unidades para la cantidad de agua que se necesitaría para el riego en la zona estudiada, por lo que se transforma la cantidad de agua a las unidades de medida dando como resultado 616 lt/ha, en un tiempo de trabajo de 12 horas y aplicado para una hectárea. En base al requerimiento diario de agua, se evalúan los parámetros requeridos de las siguientes bombas con código: opción 1; 3TSS0.76-55-24-120, opción 2; 3TSS1.4-100-48-500.

Tabla 28

Catálogo Electrobomba Solar

Referencia	potencia (W)	Caudal diario promedio (l/día)	Voltaje (VDC)	Diámetro (cm)	Cabeza Máxima (m)	Salida	Configuración recomendada paneles (Wp)	Precio Público sin Iva	Iva
3TSS0.76-55-24-120	120	2800	24	7.63	55	0.75	1*34	\$1415.5	19 %
TSSP 12-14-48-500	500	32000	48	5.08	14	2	4*200	\$2466,8	19 %
3TSS1.4-100-48-500	500	3600	48	7.62	120	0.75	2*340	\$1743,1	19 %
QB60-DC	370	4800	24	2.54	30	1	2*200	\$690.5	19 %

Fuente. Adaptada Energía y Potencia Techni Green, 2023.

Al analizar la opción de la bomba de opción 2: 3TSS1.4-100-48-500, se observa que cumple con el caudal diario y con la cabeza máxima requerida y, por ende, se debe emplear 2 bombas. Al analizar la opción de bomba 1: 3TSS0.76-55-24-120, se observa que se requieren cuatro bombas, pero la potencia total es menor, lo que permitirá reducir el número de paneles fotovoltaicos, baterías y un aerogenerador de menor potencia. La Tabla 28 muestra las características de la bomba de opción 1 definida para esta aplicación, teniendo una potencia total de 480 W y cubriendo una altura de cabeza de 220 m.

Una instalación basada en energías renovables se ajusta a un esquema similar al que se presenta en la Figura 27 en la cual se muestra una propuesta como prototipo del sistema de

riego, teniendo en cuenta el uso de baterías, paneles solares, bomba de riego y el aerogenerador.

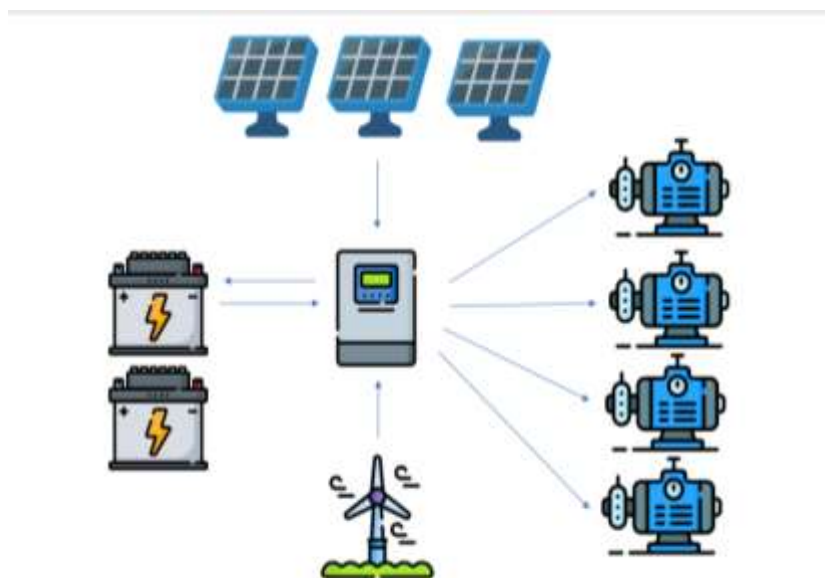


Figura 27

Diagrama de instalación solar

4.4.2 Viento

El viento como fuente de energía presenta diversas características meteorológicas, que se deben analizar para obtener su viabilidad en el estudio. Aplicando técnicas estadísticas para el análisis de los datos.

4.4.2.1 Producción de Energía Eólica

La potencia disponible (P_d) se la conoce de esta manera ya que es la potencia eólica del viento antes de incidir sobre el rotor, soplando a una velocidad (V) y pasando a través de un área (A) perpendicular a (V), se calcula con la ecuación (8). Su relación con la potencia en el eje (P) se establece a través del coeficiente de potencia (C_p), definido como la relación entre la disponible del viento y la potencia en el eje del rotor (Villarrubia, 2012).

$$P_e = \frac{1}{2} * A * \rho * V^3 \quad (8)$$

Donde:

- P_d : Potencia disponible (W)
- (ρ) : Densidad del aire (kg/m^3)
- A: Área del rotor (m^2)
- V: Velocidad del viento (m/s)

En este sentido Villarrubia (2012) explica que la potencia disponible en las masas de aire en movimiento es directamente proporcional a la densidad, al área perpendicular enfrentada al rotor y al cubo de la velocidad. La velocidad del viento hace referencia a la velocidad media, considerando esta magnitud como la más importante en la caracterización del recurso eólico.

La potencia disponible no puede ser extraída en su totalidad al paso por el rotor de un aerogenerador. Según Villarrubia (2012) el viento a su paso se frena, saliendo del mismo con una velocidad menor que con la que ha entrado. En la ecuación (9) se incluye el coeficiente del límite aprovechable para calcular la potencia extraíble.

$$P_e = \frac{1}{2} * A * \rho * V^3 * C_p \quad (9)$$

Dónde:

- P_e : Potencia extraíble (W)
- (ρ) : Densidad del aire (kg/m^3)
- V: Velocidad del viento (m/s)

- A: Área del rotor (m^2)
- C_p : Coeficiente de límite aprovechable (% expresado en decimal)

Debido a que la velocidad del viento a la altura de 15 m es sumamente baja, se considera el uso de un aerogenerador compuesto por cinco palas. El número de palas influencia directamente en la producción de energía, por lo que un número de palas mayor es apto para velocidades menores. Al disminuir el número de palas, el aerogenerador es menos sensible al cambio en la relación de velocidad de punta (Eltayesh et al., 2021). Por esta razón se consideró un aerogenerador de 400 W de cinco palas que cubre la potencia de la bomba seleccionada.

La potencia extraíble se calcula con el coeficiente de potencia, donde se toma en cuenta datos que proporciona el aerogenerador en la ficha técnica en la Tabla 29. Para obtener la potencia extraíble se usa la ecuación (9), la cual indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad.

Tabla 29

Datos Técnicos del Aerogenerador de 400W.

Ficha Técnica del Aerogenerador de 400W	
Variable	Valor
Aerogenerador	400W
Hélices	5 palas
Voltaje	24V
Material	Fibra de vidrio con nylon
Sistema de Control	Regulador Eólico LED
Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Potencia Nominal	400 W
Densidad	1.29 kg/m ³

Diámetro	1.22 m
Área	1.16 m ²
Potencia Máxima	600 W
Velocidad de Viento para arranque	2.5m/s
Coeficiente de potencia (Cp)	1.36
Velocidad del viento para funcionará la potencia nominal	10 m/s
Velocidad del viento para funcionará a máxima potencia	15 m/s
Peso	8.5 kg

*Fuente.*Fuente; Damia Solar s/f.

En la Figura 28 se observa la curva de potencia del aerogenerador de cinco palas seleccionado, observando que recién a una velocidad de 3 m/s este aerogenerador podría generar electricidad. Además, se observa que la potencia nominal se alcanza cuando la velocidad del viento se encuentra a los 10 m/s.

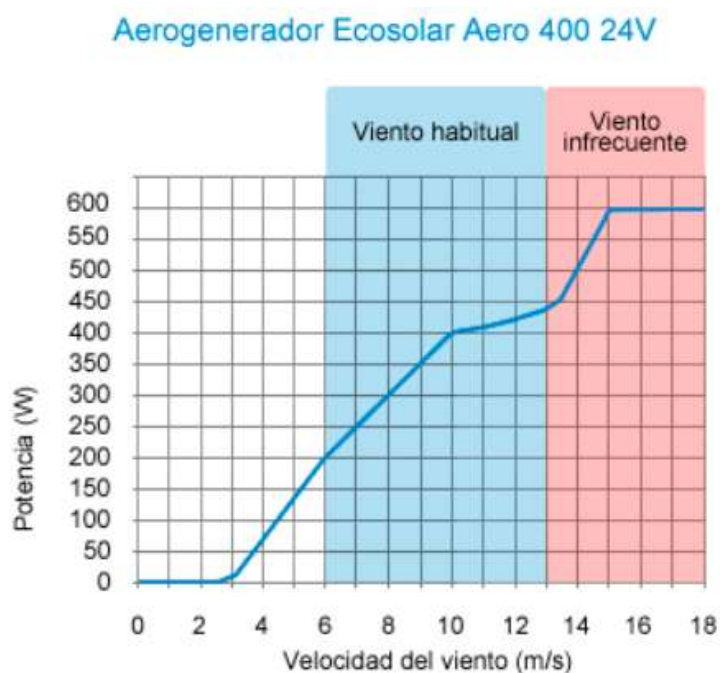


Figura 28

Curva de potencia vs velocidad del viento

Fuente. Adaptada por DamiaSolar, 2022.

Relacionado el análisis de los datos, se observan los valores del recurso eólico, donde se aplicó la Ley Exponencial de Hellmann, obteniendo valores de velocidad de viento reales a la altura donde se establecería el proyecto. En base a la velocidad promedio del emplazamiento se determina que la potencia extraíble será igual a 32.7 W. Este resultado permite descartar el uso de energía eólica en este emplazamiento, considerando la velocidad del viento como insuficiente para la generación de una potencia nominal estable.

4.4.3 Radiación Solar

La energía solar fotovoltaica transforma de forma directa la radiación solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico (paneles fotovoltaicos). Este tipo de tecnología es una de las más usadas en el mundo para la generación de electricidad de manera limpia y respetuosa con el medio ambiente.

4.4.3.1 Producción de Energía Fotovoltaica

La generación de energía eléctrica a partir de un sistema fotovoltaico requiere que se considere la orientación de los paneles fotovoltaicos y su inclinación para optimizar la producción de energía.

4.4.3.1.1 Configuración del sistema fotovoltaico

a. Orientación e Inclinación

En la producción de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos, la orientación juega un factor determinante debido al movimiento del Sol durante los días del año, donde se establece cuando la irradiancia es perpendicular al plano fotovoltaico. Para el cálculo de la posición del sol, se toma en cuenta la hora solar local y los ángulos de elevación y azimut. El ángulo de azimut y de elevación, al mediodía son los dos ángulos que se utilizan para orientar los

módulos fotovoltaicos y se instalan los sistemas de manera que la orientación mitigue el ángulo respecto a la incidencia de la radiación, que forman la proyección de los rayos del sol (Riccio, 2022)

Se determinan los ángulos óptimos de inclinación y orientación de superficies planas para maximizar la captación de radiación solar. Se sugiere que el ángulo sea de 15° según la ubicación de la zona, debido a que no existe mayor afectación respecto al movimiento planetario. El ángulo azimut se conforma entre la dirección Norte-Sur y se mantiene en cero, debido a que no existe mayor afectación respecto al movimiento planetario. El estudio de Serrano et al. (2021) sugiere que el ángulo óptimo en Ecuador para paneles solares está entre 12° y 19°, respecto a la horizontal y la orientación entre 20° y 60° respecto al Norte.

4.4.2.1.2 Potencia máxima instalable Fotovoltaica

Para establecer la cantidad de paneles solares se utilizó la potencia de la bomba siendo su valor 480 W, obteniendo la energía diaria de 5.76 kWh. En la Tabla 30 desglosa los valores necesarios para identificar la potencia extraíble.

Tabla 30

Datos fotovoltaicos

Datos	Valores	Unidades
Potencia motobomba	480	W
Tiempo	12	h
Horas pico solares (HPS)	4.22	HSP
Energía es igual a potencia por tiempo	5760	Wh
	5.76	kWh/día

*Fuente.*Fuente; [Elaboración propia]

La radiación solar que llega a la Tierra varía con la posición geográfica, la época del año y la hora del día. El total de radiación procedente del Sol nos da como valor las horas picos solares

promedios con un valor de 4.22 HSP. Para obtener el promedio de potencia fotovoltaica dividimos la potencia obtenida en la Tabla 30 con un valor de 5.76 kWh/día para las 4.22 HPS dando como resultado 1.37 kW.

Se consideró los cálculos de rendimiento de instalación fotovoltaica mencionados antes y la eficiencia total, siendo la más competente para la zona de estudio. En la Tabla 31 se muestra los datos de eficiencia para sistemas fotovoltaicos con referencia a la eficiencia controlada de carga con 95%, la eficiencia de batería en carga con 95%, la eficiencia de cableado con 98%, la zona de instalación no cuenta con árboles que afecte al factor de sombra, considerando el factor con un valor de 0%, por lo que se obtuvo una eficiencia total del 88%. Tomando en cuenta las horas pico solares y la eficiencia total obtenida se calcula la potencia Fotovoltaica Real dividiendo el promedio de potencia fotovoltaica para el porcentaje de eficiencia dando como resultado un valor de 1.543 kW. Para los paneles fotovoltaicos analizados se considera una potencia de 400 W, al realizar el cálculo del número de paneles a instalar se toma en cuenta la potencia fotovoltaica dividida para la potencia del panel teniendo como resultado 4 paneles.

Tabla 31

Cálculo de paneles fotovoltaicos

Variable	Valores	Unidades
Se toma en cuenta la eficiencia		
- Eficiencia controlada de carga	95	%
- Eficiencia batería en carga	95	%
- Factor de sombra	0	
- Eficiencia cableado	98	%
Eficiencia Total	88.4	%
Potencia Fotovoltaica Real	1.54	kW

Panel	400	W
# de Paneles 400W	4	

4.4.2.1.3 Panel Solar Monocristalino

Como panel fotovoltaico se ha escogido la marca Eco Green Energy debido a que es comercializada en el Ecuador y pudo obtenerse precios referenciales para este producto. Este elemento es fabricado por una empresa francesa líder en energía solar (Pro Viento S.A. 2023). Las características principales de este panel fotovoltaico se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32

Paneles solares considerados para el diseño del sistema

Variable	Valor
Potencia:	400 Wp / 0 ...+ 3%
Tipo:	Monocristalino
Configuración:	70 células de 156x156mm
Voltaje circuito abierto:	48.60 VDC
Voltaje circuito óptimo:	39.92 V
Corriente cortocircuito:	10.40 A
Corriente óptimo:	10.02 A
Eficiencia módulo:	20.61%
Max. Voltaje String:	1500VDC
Diodos Bypass:	3
Dimensiones:	1980x1002x40mm
Peso:	23 kg
Certificaciones:	IEC61215, TUV, CE
Garantía técnica:	12 años
Origen:	Francia/China.

Fuente Adaptada de ProVientos/f.

4.4.2.1.5 Batería de gel de ciclo profundo

En el mercado se encuentran diferentes baterías para instalaciones fotovoltaicas, como las AGM, Litio y gel. Para el sistema solar fotovoltaico empleado se consideró una batería de gel de ciclo profundo Figura 29 debido a que estas baterías son una versión mejorada de las baterías AGM, presentando una buena durabilidad (Pro Viento S.A. 2023). En comparación a las baterías tradicionales, las baterías de gel presentan menos materiales para su fabricación, siendo más fácil reciclar, considerándose respetuosa con el medio ambiente.



Figura 29

Batería ProViento de GEL

Fuente. Adaptada de ProViento., s/f.

Mediante los cálculos se proporcionó una referencia para el estudio efectuado de baterías de 24 voltios indicada en la Tabla 33, lo que se pudo comprobar mediante la ficha técnica de la batería analizada.

Tabla 33

Cálculo de baterías

Variable	Valor	Unidades
Días de almacenamiento	2	días
Coeficiente de flexión (Cb)	11.52	kWh

Profundidad de descarga máxima	80	%
Coeficiente de flexión (Cb)	14.4	kWh
Se necesita 24 Voltios por batería	24	V

El desarrollo del sistema de almacenamiento requiere una operación efectiva con el voltaje necesario de 24V que es el valor de potencia necesaria para que la bomba funcione. Considerando una conexión de 2 baterías conectadas en serie se suman los voltajes de cada panel y circula la misma corriente y 4 en paralelo su conexión de voltaje es el mismo de cada batería y la capacidad 600 Ah es la suma de las capacidades de cada batería como se muestra en la Figura 30.

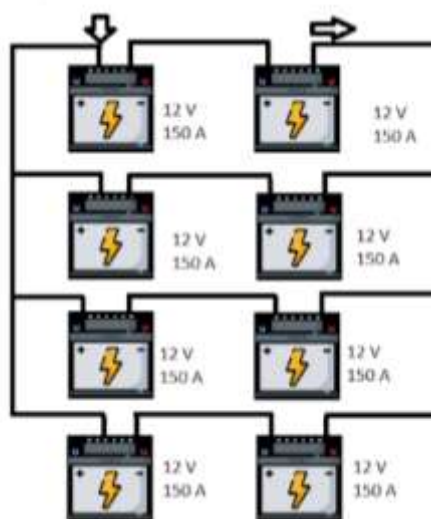


Figura 30

Diagrama del cálculo de baterías

4.4.2.1.6 Controlador de carga

Dentro de un sistema fotovoltaico autónomo es necesario contar con un controlador de carga, siendo el encargado de regular la transferencia de energía entre los paneles fotovoltaicos y las baterías; este dispositivo permite alargar la vida útil de las baterías, evitando que las baterías

se descarguen (Morningstar., s/f). Se ha seleccionado un controlador del tipo MPPT 600V™ como se observa en la Figura 31.



Figura 31

Controlador MORNINGSTAR TriStar 60

Fuente. Adaptada de Morningstar., s/f.

En la Tabla 34 se muestran las principales características del controlador seleccionado, que se puede utilizar para el emplazamiento el cual tiene una entrada de matriz fotovoltaica de hasta 600 V.

Tabla 34

Características del Controlador.

Variable	Valor	Unidades
Máx. Voltaje de circuito abierto fotovoltaico (Voc)	600	V
Voltaje nominal de la batería	48, programable a 24 V, 36 V y 60 V	V
Nominal máx. Potencia de funcionamiento	3200	W
Máxima eficiencia	97,9	%

Rango de voltaje de la batería	16-72	V
Precisión de voltaje	$\leq 0.1\%$ +/- 100mV	V
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 C a +45 C	C
Protección contra sobretensiones transitorias	4500	vatio/puerto

Fuente. Adaptada de Morningstar., s/f.

De acuerdo al análisis del recurso solar se determinó que la radiación en la zona tiene un promedio de 643.315 W/m . Este resultado permite usar la energía fotovoltaica en este emplazamiento, por lo que el sistema se basará en el recurso solar que sí es suficiente para producir energía eléctrica y activar el sistema de bombeo.

Capítulo 5: Modelado del Sistema de Riego

Para el cálculo se consideró utilizar el software HOMER Pro, versión Pro 3.14.2 de 64 bits, debido a las ventajas que brinda: logrando diseños de menor costo mediante la construcción del diseño de un sistema de recursos energéticos, minimiza los costos de desarrollo de la propuesta al determinar la viabilidad del proyecto, considera todos los riesgos del sistema en todas las opciones y escenarios, produce propuestas sutiles al cliente que demuestren el valor del sistema real y finalmente compara los componentes en varios entornos simulados las cuales identifica puntos de precio.

5.1. Parámetros para un sistema de riego con uso de combustibles fósiles

Los parámetros usados para el sistema de riego por motobomba alimentada por gasolina se detallan en la Tabla 35. Los datos presentados fueron proporcionados por (E, Data. Presidente de la Junta parroquial, comunicación personal, 24 de octubre del 2022) usuario de la zona de estudio. En relación a la vida útil de los elementos que se aplican al sistema de riego con energía convencional, se considera una duración de 2 a 5 años según el tipo de mantenimiento que se le otorgue.

Tabla 35

Costos asociados al sistema de riego por motobomba alimentada por combustible fósil

Elemento de inversión	Precio (\$)	Observación
Motobomba Marca HONDA Modelo GX160	420	Caudal 2" - 5.5 HP - Trabajo Estándar 4Tiempos Monocilíndrico
Subtotal	420	
Operación y mantenimiento anual	Precio (\$)	Galones anuales
Combustible 144 galones	345.60	144
Transporte de combustible (16 galones anuales)	40	16
Mantenimiento general	20	0
Subtotal	405.60	160
Total	825.60	

Fuente. Adaptado de Información proporcionada por el usuario de la zona de estudio

Las emisiones relacionadas con el uso de energía convencional comprenden dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) entre otras (López Gil, S. 2013). Las emisiones de CO₂ proceden de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión en la utilización de bombas con uso de combustibles fósiles (Castells, 2005). Según explica Isla (2017) el CO₂ emitido va a depender de la cantidad de combustible usado, se considera un peso de 750 gramos, el cual está compuesto de 87% de carbono, existiendo 652,5 gramos de carbono por cada litro de combustible. Para efectuar la combustión interna entre combustible y el motor se necesitan 1740 gramos de oxígeno por litro. Se realiza una sumatoria entre los gramos de carbono con los gramos de oxígeno para obtener los gramos de CO₂ por litro de combustible, siendo 2392.5 gramos de dióxido de carbono. En la

zona de estudio se estima un uso de 160 galones de combustible anual, es decir 1.65 litros de combustible al día. Para obtener los gramos de CO₂ generado por el tiempo de riego al día se usa la ecuación (10). Obteniendo un dióxido de carbono generado por el tiempo de riego de 328.9 gr.

$$gr\ CO_2 = \frac{gr\ de\ CO_2\ en\ un\ litro\ de\ combustible * lt\ de\ combustible\ al\ dia}{12\ horas\ de\ riego} \quad (10)$$

5.2. Parámetros HOMER Pro

HOMER Pro utiliza los datos del perfil de carga diaria, irradiación y temperatura para el diseño del sistema netamente basado en energía solar (FV), puesto que el sistema eólico no se considera pues presenta insuficiencia del recurso viento. Los datos de salida que genera el software son la potencia de los paneles fotovoltaicos y la cantidad de baterías en función de los requerimientos del sistema el cual está conectado en su totalidad en corriente continua. Se realiza un análisis económico según los costos ingresados de los paneles, el controlador, las baterías, el costo de operación y mantenimiento (O&M), la tasa de interés, el tiempo de vida de los elementos entre otros parámetros. Con se estima el precio total del sistema, los gastos durante el uso del sistema fotovoltaico, el periodo de mantenimiento y el cambio de implementos (Barrón et al., 2021).

5.3. Diagrama de flujo de trabajo de HOMER Pro

En la Figura 32 se muestran los pasos básicos del diagrama de flujo para desarrollar un sistema autónomo utilizando el software HOMER Pro.

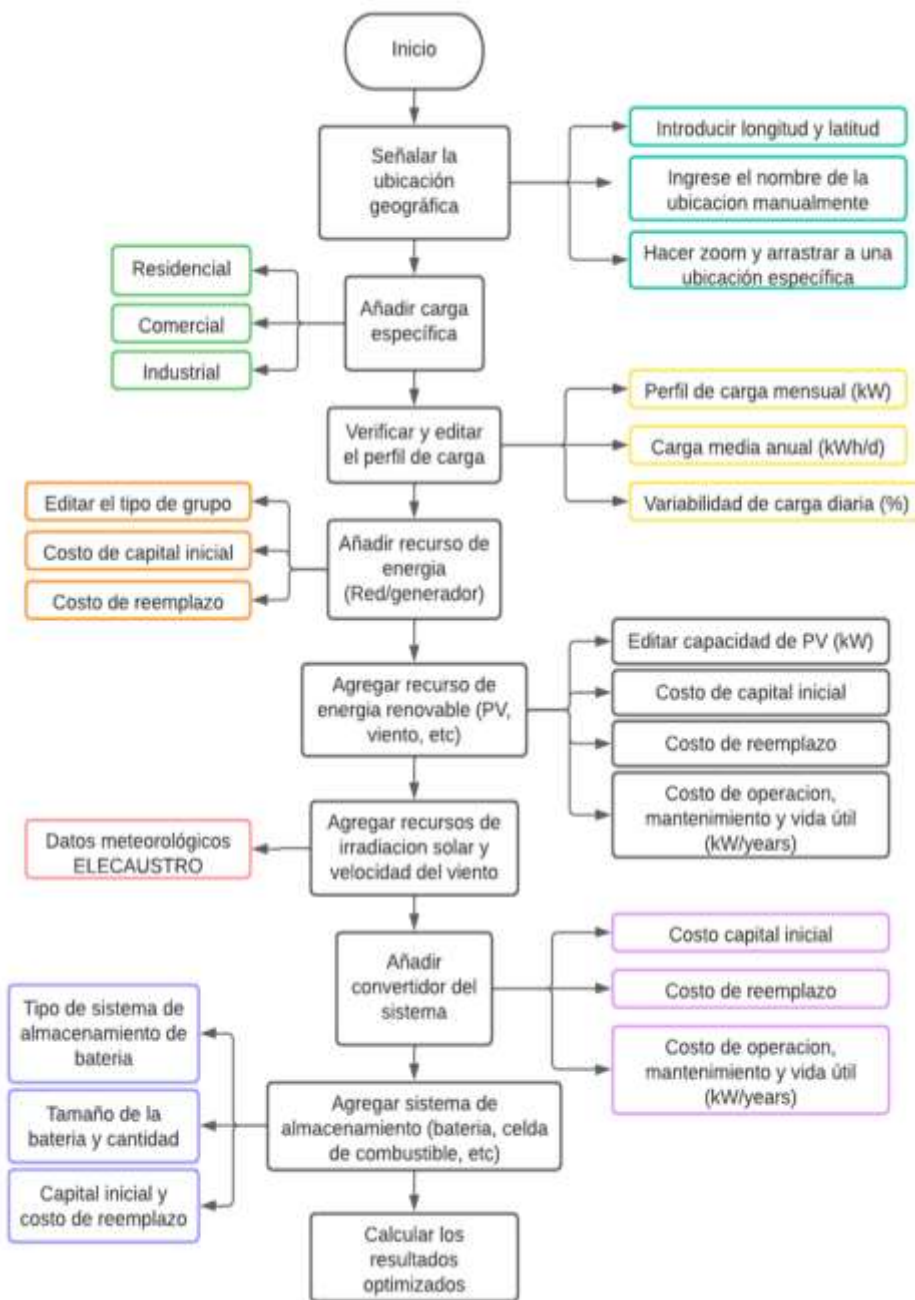


Figura 32

Diagrama de flujo de trabajo de HOMER Pro

Con referencia al diagrama de flujo de la Figura 32, primero se selecciona una ubicación geográfica específica del sistema propuesto. A continuación, se añade la carga específica necesaria que se requiere, y entonces se determina el tipo de carga útil y establece el perfil de carga adecuado. Como paso siguiente, se agrega el recurso fotovoltaico, especificando sus diversos parámetros. Por último, se agrega los datos meteorológicos seguidos de la adición de los componentes del sistema. Al plantearse un sistema autónomo, se selecciona el tipo de almacenamiento de energía. Para finalizar, los resultados del cálculo se pueden analizar mediante el software y las herramientas de optimización

5.4. Sitio de estudio

Se indican las coordenadas del sitio y su altitud. En la Figura 33 se muestra un esquema del sitio del estudio.

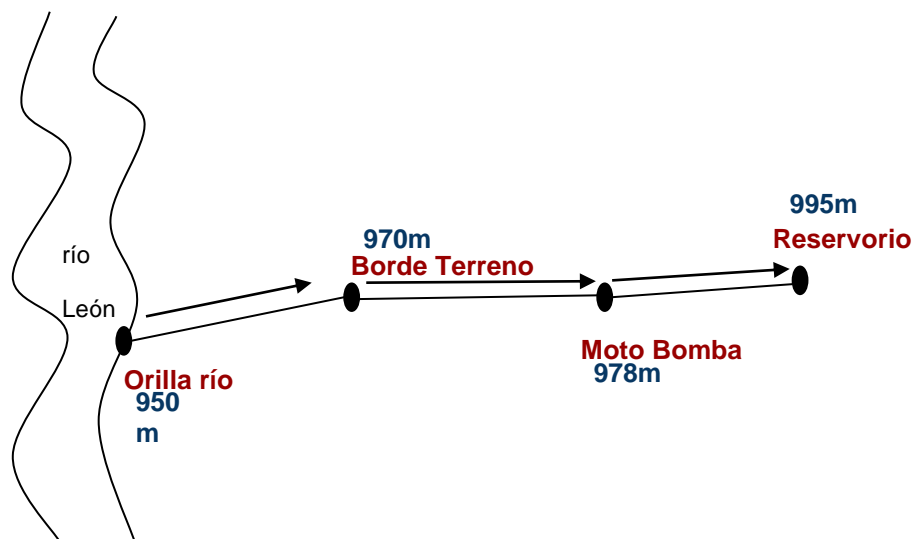


Figura 33

Gráfico del sitio de estudio

5.5. Modelamiento HOMER Pro Fotovoltaica

Paso 1

Se modela el caso real del diseño del proyecto usando radiación solar, como referencia se tiene los cálculos realizados en el capítulo 4. Lo primero que se realiza al momento de modelar un sistema en el software HOMER Pro es ingresar el dato de las coordenadas del lugar UTM WGS 84 17S: (679.448;9´ 628.552) como se observa en la Figura 34 y la Figura 35. Adicional se requiere el valor de la tasa de descuento real (Discount rate) el cual se obtiene mediante la fórmula proporcionada por el software donde se requiere el valor de inflación (2.9) y el valor de la tasa de interés bancaria (8.68), teniendo como resultado 1.48.



The image shows a screenshot of the HOMER Pro software interface. At the top, there is a navigation bar with several steps: Project, Loads, Grid, Generator, Renewables, Storage, and Summary. The 'Project' step is currently selected and highlighted in blue. Below the navigation bar, there are three input fields: 'Project title' with the value 'Caso Fotovoltaico', 'Discount rate (%)' with the value '1.48', and 'Location' with the value '(3°22.0'S, 79°21.1'W)'. Below the 'Location' field, there is a button labeled 'Set Location'.

Figura 34

Paso 1: Colocar el título del proyecto y agregar la tasa de descuento



Figura 35

Paso 1: Selecciona la ubicación geográfica

Paso 2

El software proporciona el ingreso para verificar y editar el perfil de carga diaria. También para especificar la zona sea residencial, comercial o industrial como se observa en la Figura 36, para el caso real se escoge el perfil industrial por ser constante, donde luego se limitará las horas de uso de este perfil para que se ajuste a los horarios de riego requerido. Se ingresó una carga diaria promedio anual analizada en el capítulo 4 de 0.48 kW correspondiente al valor necesario para que la bomba funcione.



Figura 36

Paso 2: Añadir, verificar y editar el perfil

Paso 3

Al ser un sistema autónomo, no hace falta incluir ningún parámetro como se observa en la Figura 37.

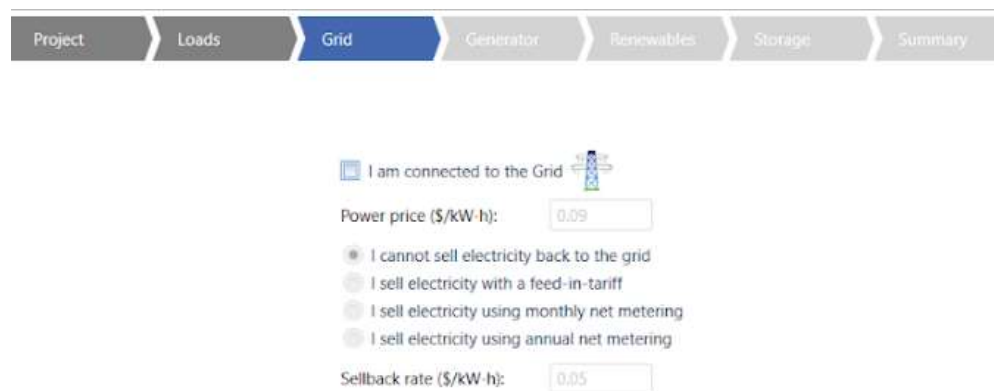


Figura 37

Paso 3: Verificar y editar el perfil de carga

Paso 4

El ayudante de HOMER Pro proporciona la opción de añadir el recurso de energía del Generador como se observa en la Figura 38, el sistema propuesto no requiere un generador eléctrico por lo que no se considera este punto.



Figura 38

Paso 4: Añadir recurso de energía

Paso 5

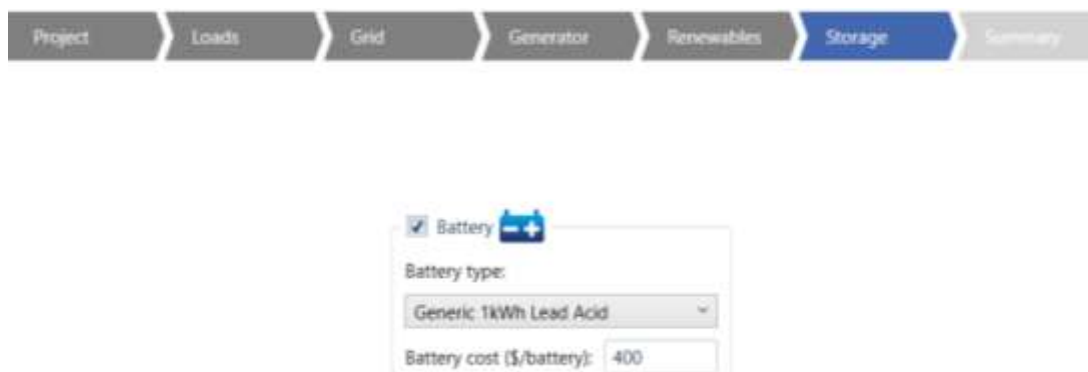
Se selecciona la tecnología que generará electricidad para el sistema de bombeo, como se observa en la Figura 39. Se selecciona la opción de paneles FV cumpliendo con las condiciones establecidas calculadas en el capítulo anterior. No se incluye la opción de turbina eólica de acuerdo a lo comentado en el capítulo 4. Se ingresa un estimado de \$800 por kW hora instalado (C, Chica, Gerente de Inmeplast, comunicación personal, 8 de noviembre del 2022). Siendo este valor el que se encuentra en el mercado ecuatoriano para proyectos solares y comprobando con las entrevistas realizadas.

**Figura 39**

Paso 5: Agregar recurso de energía renovable

Paso 6

El software permite configurar un sistema fotovoltaico autónomo, por lo tanto, es posible incluir un sistema de almacenamiento. Los parámetros necesarios para su configuración son: tipo, características y cantidad de baterías. Se incorpora en el modelado del proyecto la batería genérica con el capital inicial y costo de reemplazo como se observa en la Figura 40. Posteriormente se modificará la batería seleccionada (Batería PROVIENTO GEL Ciclo Profundo 12V / 150Ah HTB-12-150) en el capítulo 4.

**Figura 40**

Paso 6: Agregar sistema de almacenamiento

Paso 7

HOMER Pro utiliza los datos ingresados para modelar un sistema con toda la información incluida en los pasos anteriores. En la ventana de resumen (Summary) como se observa en la Figura 41, se incluyen los principales parámetros ingresados.

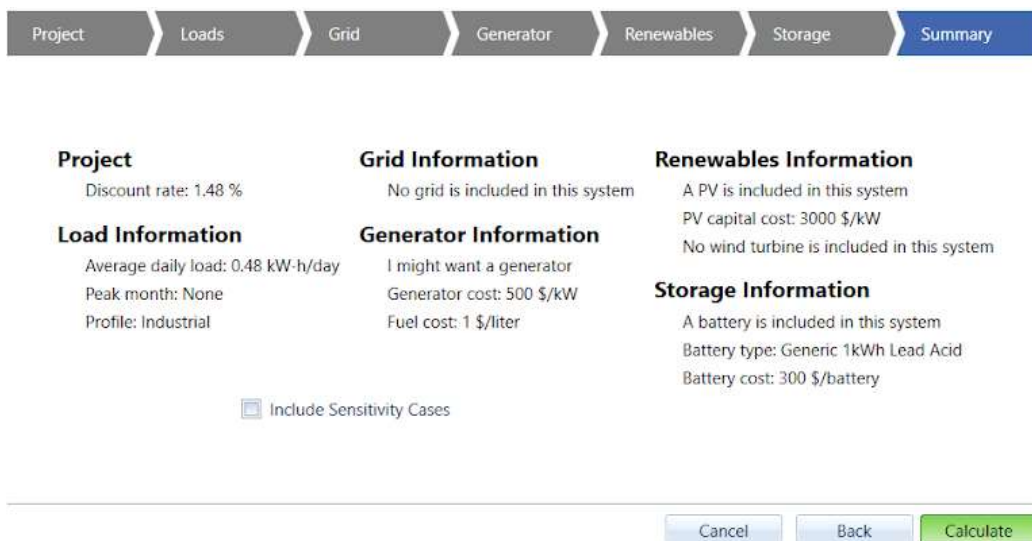


Figura 41

Paso 7: Agregar casos de sensibilidad

A continuación, la Figura 42 muestra una impresión de pantalla del momento en que el programa HOMER Pro simula el sistema propuesto en base a los parámetros establecidos.

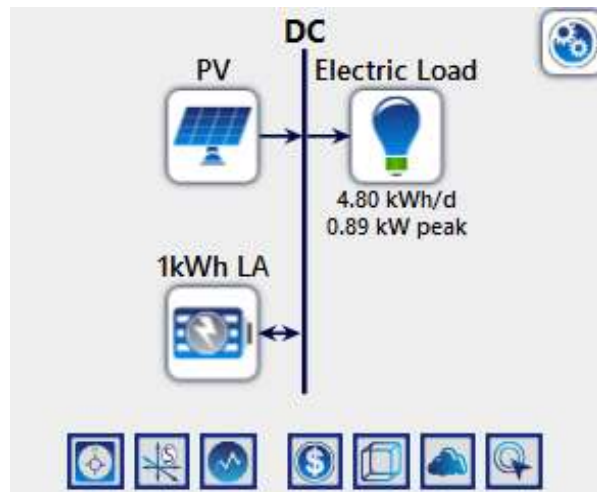


Figura 42

Paso 7: Modelamiento de los datos Ingresados

Paso 8

En la Figura 43, se representa el diagrama de sistema propuesto en corriente continua. Este procedimiento para la aplicación del modelamiento del sistema fotovoltaico, considerando la irradiancia solar y la temperatura ambiente.

**Figura 43**

Paso 8: Diagrama de sistema propuesto

Paso 9

En la opción de Recursos (Resources) en la pestaña Solar GHI, se ingresan los datos promedios de los años 2018, 2019, 2020, 2021 del recurso solar. En la Tabla 36, se puede observar que el valor más alto de irradiancia recae en el mes de julio con 494.8 W/h/ m²*día.

Tabla 36*Datos de irradiancia solar de la zona de estudio*

Mes	Promedio anual (Wh/m²*día)	Índice de Claridad
Enero	326.7	31.41
Febrero	413.9	39.07
Marzo	423.1	40.18
Abril	376.6	37.54
Mayo	371.0	39.73
Junio	362.1	40.56
Julio	494.8	54.46
Agosto	370.6	38.27
Septiembre	424.6	41.31
Octubre	492.4	40.86
Noviembre	492.8	47.40
Diciembre	454.8	44.22

Nota. HOMER Pro., s/f.

En la opción de recursos (Resources) en la pestaña temperatura (Temperature), los datos promedios de los años 2018, 2019, 2020, 2021 de la temperatura ambiente están expresados en grados centígrados, que fueron ingresados al software HOMER Pro. En la Tabla 37 se puede observar que el valor más alto de temperatura ambiente recae en el mes de abril con 25.2°C.

Tabla 37*Datos de temperatura ambiente de la zona a estudiar*

Mes	Promedio anual °C
Enero	20.2
Febrero	20.3
Marzo	20.0
Abril	25.2
Mayo	20.8
Junio	22.8
Julio	21.0
Agosto	22.0
Septiembre	21.0
Octubre	20.2
Noviembre	19.9
Diciembre	19.9

*Nota.*HOMER Pro., s/f.**Paso 10**

HOMER Pro utiliza los datos ingresados como el perfil de carga diario, los datos de irradiación para el diseño del sistema fotovoltaico. Los resultados que arroja HOMER Pro son la potencia que va a tener el sistema fotovoltaico que trabaja en corriente continua, la cantidad de baterías en función de las características de la batería seleccionada y la potencia instalada.

En la opción de componentes (Components), en la pestaña PV se tiene la opción de modificar y añadir un panel fotovoltaico que no se encuentre dentro de la librería. En este caso se añade el

panel monocristalino ECO/GREEN ingresando sus características Figura 44. Este panel tiene una potencia de 0.48 kW y un costo unitario en el mercado de \$330. Dentro de este costo se considera que la estructura que soporta al panel tiene un costo de 90\$. El costo total de los 4 paneles fotovoltaicos y sus estructuras alcanzan los \$3330.

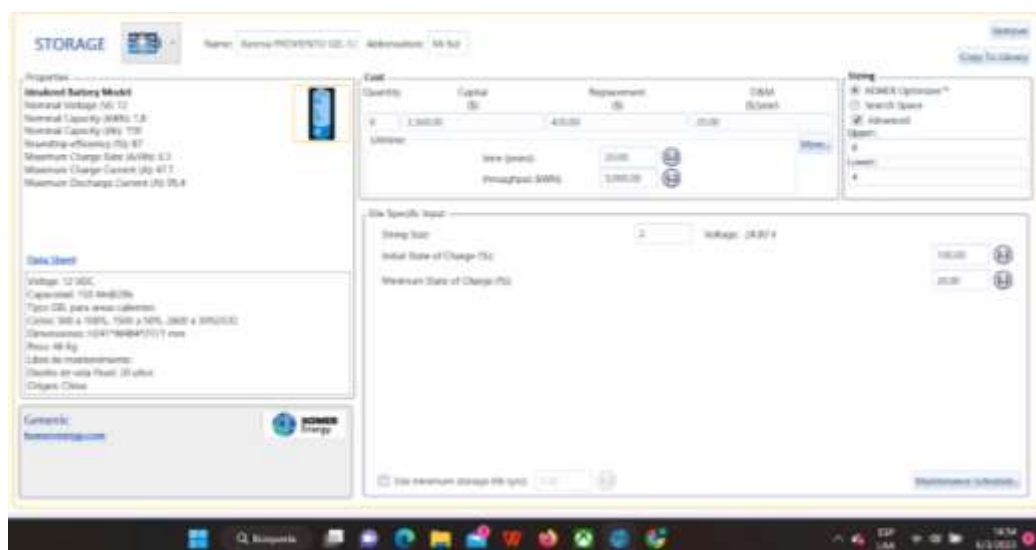


Figura 44

Paso 10: Componente PV

Paso 11

En la opción de Components, en la pestaña Storage tenemos la opción de modificar y crear nuestra batería de marca Pro Viento de GEL ingresando todas las características como se observa en la Figura 45 teniendo en cuenta que la batería es de 12 V, pero se colocara 2 baterías en serie y 4 baterías en paralelo, para con eso obtener los 24 V que necesita para que funcione la bomba de riego.

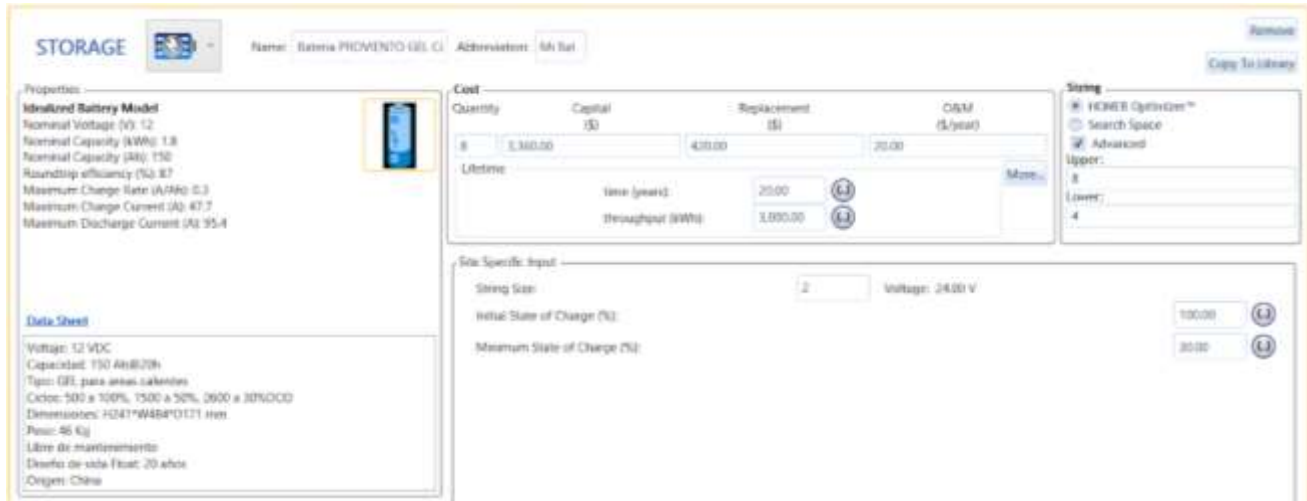


Figura 45

Paso 11: Componente Storage

Paso 12

En la opción de componentes (Components), en la pestaña controlador (controller), como se observa en la Figura 46, se puede modificar y añadir un controlador diferente al que se incluye en la base de datos del software. En este caso se incluye el controlador marca MORNINGSTAR TriStar 60 con un voltaje de 24 V y su tiempo de vida útil.

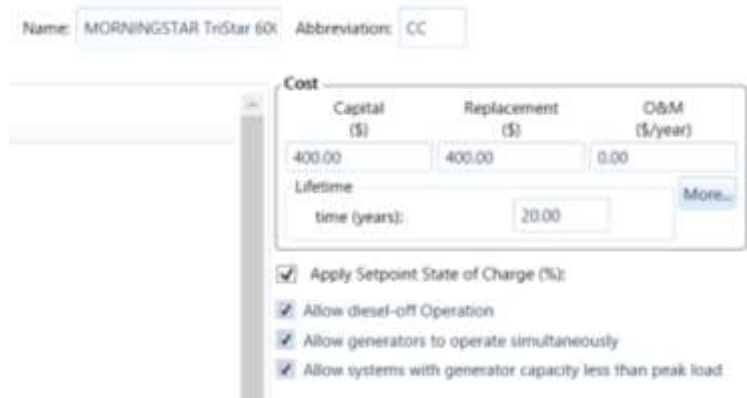


Figura 46

Paso 12: Componentes del Controlador

Paso 13

La opción de tablas de resultados nos permite analizar los rangos de variaciones económicas, tomando en cuenta la mejor opción de cada componente; sabiendo eso el software brinda el caso de optimización para observar los resultados, lo cual se observa en la Figura 47.

Architecture						Cost			
	PV (kW)	PV-MPPT (kW)	Mi Bat (#)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	
	1.60	1.60	8	LF	\$5,417	\$1.49	\$48.00	\$4,420	

System		PV		Mi Bat			
Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Nominal Capacity (kWh)	Accessible Capacity (kWh)
100	0	660	2,805	504	15.7	14.4	10.1

Figura 47

Paso 13: Resultados de optimización y casos de sensibilidad

5.6 Resultados HOMER Pro

Mediante el modelamiento realizado, se obtuvo datos técnicos y económicos del primer caso de diseño fotovoltaico, los factores económicos se los detalla en la Tabla 38, se presenta el costo capital, el reemplazo, la operación y mantenimiento (O&M), combustible, modificación de reemplazo a largo plazo y el total requerido por cada componente.

Tabla 38*Costo Total de cada componente*

COMPONENTE S	CAPITAL	REEMPLAZO	O & M	COMBUSTIBLE	MODIFICACIÓN	TOTAL
Bateria PROVIENTO GEL Ciclo Profundo 12V / 150Ah HTB-12- 150	\$3360.0	\$313.07	\$415.3	\$0.00	(\$218.17)	\$3870.29
MORNINGSTAR TriStar 60 Cycle Charging	\$400.00	\$298.16	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$698.16
Panel Solar Monocristalino ECO-GREEN ENERGY 400W/24VDC	\$330.00	\$0.00	\$207.7	\$0.00	\$0.00	\$537.70
Convertidor fotovoltaico fijo	\$264.73	\$264.73	\$0.00	\$0.00	(\$76.19)	\$518.55

En el modelado del sistema real se obtuvo el flujo de efectivo necesario para el sistema fotovoltaico, los factores económicos se los detalla en la Figura 48, donde se presenta, el costo actual neto (NPC) de \$5416.91, el costo de energía nivelado (LCOE) de \$1.49 y el costo de operación y mantenimiento (O&M) de \$48.00.

System Architecture: MORNINGSTAR TriStar 60Load Folio
 Panel fotovoltaico (1.60 kW/1.60 kW)
 Bateria PROVIENTO GEL Ciclo Profundo 12V / 150Ah HTB-12-150 (4.00 strings)

?	Total NPC:	\$5,416.91
?	Levelized COE:	\$1.49
?	Operating Cost:	\$48.00

Figura 48

Flujo de efectivo

Fuente.HOMER Pro., 2023.

La Tabla 39 muestra la producción eléctrica anual, teniendo en cuenta que se utilizó paneles fotovoltaicos con una generación 2805 kWh, se presenta un consumo del sistema de 175 kWh por año. En el exceso de electricidad se consideran las pérdidas del 93.7%

La máxima fracción renovable total del sistema usando 4 paneles fotovoltaicos con vida útil de 25 años es de 8445%. Al considerar un cálculo individual por año se obtiene un valor de 337.8%; Sin embargo, este porcentaje debe ser dividido para los 4 paneles utilizados dando como resultado 84.25% por cada panel fotovoltaico en un año de producción.

Tabla 39

Producción eléctrica

Consumo	kWh/año	%
Producción del PV	2805	100
DC Carga Primaria	175	100
Exceso de electricidad	2697	93.7
Carga eléctrica insatisfecha	0	0
	Valor	Unidad
Fracción renovable	100	%
Máxima Renovable	8445	%

*Fuente.*Elaboración propia adaptada de HOMER Pro., 2023.

Es importante mencionar que debido a que el estudio realizado se basa en energías renovables las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, material particulado, dióxido de sulfuro y óxidos de nitrógeno los niveles de las emisiones son nulos considerándolos un valor de 0. La Tabla 40 muestra una comparativa de los valores a detalle sobre los componentes y el sistema para el caso real y el caso optimizado. Obteniendo para el caso real una capacidad fotovoltaica de 1.6 kW que equivale a la capacidad de 4 paneles fotovoltaicos, 1 convertidor fotovoltaico, 8 baterías de 12V y un controlador. Para el caso optimizado, la capacidad fotovoltaica es de 0.4 kW que equivale a la capacidad de 1 panel fotovoltaico, 1 convertidor fotovoltaico, 2 baterías de 12V y el controlador. Se describen los valores económicos de cada componente obteniendo un costo de cada uno.

Tabla 40

Panel Fotovoltaico

	Componentes	Capital	Reempl	Manten	Combust	Modifica	TOTAL
Caso Real	Batería PROVIENT O GEL Ciclo Profundo 12V / 150Ah HTB-12-150	\$3360	\$313.07	\$415.39	\$0.00	(\$218.17)	\$3870.29
Caso optimizado	Batería PROVIENT O GEL Ciclo Profundo 12V / 150Ah HTB-12-150	\$840.00	\$78.27	\$103.85	\$0.00	(\$54.54)	\$967.57
Caso Real	MORNINGS TAR TriStar 60 Cycle Charging	\$400.00	\$298.16	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$698.16
Caso optimizado	MORNINGS TAR TriStar 60 Cycle Charging	\$400.00	\$298.16	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$698.16
Caso Real	Panel Solar Monocristalino ECO- GREEN ENERGY 400W/24VD C	\$330.00	\$0.00	\$207.70	\$0.00	\$0.00	\$537.70

Caso optimizado	Panel Solar Monocristalino ECO-GREEN ENERGY 400W/24VD C	\$330.00	\$0.00	\$207.70	\$0.00	\$0.00	\$537.70
Caso Real	Convertidor fotovoltaico fijo	\$330.00	\$264.73	\$0.00	\$0.00	(\$76.19)	\$518.55
Caso optimizado	Convertidor fotovoltaico fijo	\$330.00	\$264.73	\$0.00	\$0.00	(\$76.19)	\$518.55

Fuente. Elaboración propia adaptada de HOMER Pro., 2023

Capítulo 6: Resultados y discusión

6.1. Análisis de los Resultados de HOMER Pro

HOMER Pro es una herramienta que permite realizar varias combinaciones de sistemas fotovoltaicos, eólicos o híbridos, con la finalidad de obtener diversas simulaciones y así sus estimaciones de los resultados de cada caso. En este trabajo se analizaron los resultados económicos y técnicos con el uso de energía fotovoltaica, empleando datos reales.

Este estudio analiza dos casos el real y el optimizado que brinda HOMER Pro. Los cuales están conectados en corriente continua, su porcentaje de fracción renovable para ambos casos es el 100% y su volumen total de combustible por litros/años es 0.

El caso real se muestra en la Tabla 41 está compuesto por 4 paneles fotovoltaicos (potencia de 1.6 kW) con una producción de energía de 2805 kWh/año y 8 baterías de 12 V con una autonomía de 504 horas. Se determinó que el costo actual neto fue de \$5271.33, con un costo de O&M de \$48.00, un costo nivelado de energía de \$1.49 y un costo capital de \$4420. Mientras que, para el caso optimizado, está compuesto por 1 panel fotovoltaico (potencia de 0.4 kW) con una producción de energía de 701 kWh/año y 2 baterías de 12 V con una autonomía de 126 horas. El costo actual neto fue de \$2425, con un costo de O&M de \$29.57, un costo nivelado de energía de \$0.69 y un costo capital de \$1900. Finalmente se analiza los resultados obtenidos y en efecto el caso optimizado es el idóneo para el sistema de riego.

Tabla 41

Resultados del modelamiento caso real y caso optimización.

Resultados del Modelamiento	Caso Real	Caso Optimizado
Mi PV (kW)	1.6	0.4
Mi Bat	8	2
Despacho	CC	CC
Costo Actual Neto (NPC)	5417	2514
Costo nivelado de energía (COE)	1.49	0.69
Costo de operación (\$/año)	48.00	29.57
Capital Inicial (\$)	4420	1900
Fracción Renovable (%)	100	100
Total combustible (L/año)	0	0
Producción Mi PV (kWh/año)	2805	701
Autonomía Mi Bat (hr)	504	126
Rendimiento Anual Mi Bat (kWh/año)	15.7	21.7
Capacidad Nominal Mi Bat (kWh)	14.4	3.60
Capacidad nominal utilizable Mi Bat (kWh)	10.1	2.52

Fuente.Elaboración propia

6.2. Resultados y discusión

Para el estudio efectuado, se generaron resultados permitiendo realizar un análisis técnico, económico y ambiental para evaluar la prefactibilidad de una planta fotovoltaica para actividades de riego y su potencial empleo en la parroquia de Sumaypamba, provincia de Loja.

Se descartó el análisis del sistema eólico e híbrido (solar-eólico) debido a que el recurso de viento es insuficiente para las condiciones de los aerogeneradores analizados.

El sistema fotovoltaico respecto a la prefactibilidad técnica y económica, estimó el costo capital neto de inversión. El costo del proyecto para el caso real fue de \$5417, sin embargo, para el caso optimizado fue de \$2425, los cuales incluyen los costos asociados a la instalación, operación y mantenimiento. Para poder realizar una comparación económica entre el sistema convencional y el sistema fotovoltaico, se analizó el valor estimado del sistema de riego usando motobomba a base de combustibles fósiles. El cual proporcionó el costo de implementación y mantenimiento del sistema.

Se aprecia que de todas maneras el costo del sistema fotovoltaico, tanto el caso real como el optimizado, es superior al sistema convencional. Además, es importante indicar que la vida útil del sistema convencional es aproximadamente de 5 años, mientras que para el sistema fotovoltaico es de 25 años.

La parte técnica considera para el modelado los paneles fotovoltaicos, las baterías y el controlador y para el sistema de riego fotovoltaico completo se añade las bombas de riego solares con una potencia de 120W con voltaje de 24V. Además, en este aspecto es necesario mencionar que la parte geográfica e hídrica toman relevancia para obtener la capacidad de agua que necesita la bomba en el sistema de riego a base de energía fotovoltaica.

Se estimó que el caso optimizado tiene una mejor proyección comparado con el caso real, ya que considera únicamente un panel fotovoltaico de 0.4 kW, reduciendo el costo económico del estudio y disminuyendo el porcentaje de excedente de electricidad de 93.7% con el caso real a 72%. Para el funcionamiento del sistema del caso optimizado se requiere el uso de baterías donde el software muestra como resultado 2 baterías que cubre la demanda prevista por la

carga del sistema propuesto. El mantenimiento del sistema tiene un costo \$29.57 anuales, el cual se efectuará durante 25 años de funcionamiento, con un reemplazo del controlador a los 15 años con un costo de \$330 y a los 20 años un reemplazo del sistema de las baterías con un costo de \$820. Se sugieren estos reemplazos según lo analizado en el software al colocar la vida útil de cada componente.

El análisis ambiental se centra en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía renovable (Sacchelli et al., 2016). El sistema de bombeo a partir de motobomba con combustible, aporta una emisión de 328.9 gramos de CO₂ por día de riego, es decir, 120 kg de CO₂ al año de uso. Los resultados de este estudio indican que las emisiones de dióxido de carbono CO₂ tendrán una reducción del 100%, pues el sistema fotovoltaico no produce emisiones durante su instalación, operación y mantenimiento.

Para realizar el estudio se tomaron como punto de referencia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), planteados por la Organización de las Naciones Unidas. Estos objetivos abordan las causas fundamentales de la pobreza y la necesidad para lograr un desarrollo a favor de todas las personas y el planeta. Los ODS plantean tres dimensiones para el desarrollo sostenible: crecimiento económico, inclusión social y protección del medio ambiente. De los 17 objetivos que se encuentran en la Agenda 2030, 6 fueron incluidos en este trabajo: #2 (Hambre Cero), #7 (Energía asequible y no contaminante), #11 (Ciudades y comunidades sostenibles), #12 (Producción y consumo responsable), #13 (Acción por el clima) y #17 (Alianzas para lograr objetivos).

En el análisis ambiental la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía renovable. Durante el proceso de acercamiento inicial con la Asociación de Agricultores de Sumaypamba, se evidenció el uso de motobombas que utilizan combustible para el sistema de riego de sus

cultivos. Por lo que, si se opta por el empleo del sistema fotovoltaico contribuirá al uso de energías renovables y su enfoque se ve reflejado en más hectáreas por consiguiente permite alcanzar el ODS #2 pues gracias al posible empleo de este sistema de riego se podrá diversificar los cultivos en la zona de estudio, asegurando la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos aplicando prácticas agrícolas resilientes que aumentará la productividad y la producción lo que beneficiará a la comunidad (ONU, 2015).

Los resultados obtenidos contribuyen a lograr los ODS planteados, siendo uno de ellos el #7 pues el estudio realizado permite ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles, el acceso a fuentes de energía modernas y sostenibles es esencial no solo para hacer frente al cambio climático, sino también para el crecimiento económico para el Ecuador (ONU, 2015).

También aporta al cumplimiento el ODS #12 fomentando el uso eficiente de los recursos y la energía, construyendo infraestructuras que eviten el daño al medio ambiente creando empleos ecológicos y mejorando el acceso a los servicios básicos. De esta manera se mejorará la calidad de vida, además de ayudar a lograr planes de desarrollo, reduciendo costos económicos, ambientales y sociales (Nubia, 2016). Por consiguiente, el uso del sistema fotovoltaico ayudará a fortalecer la capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles, por lo que, al elegir el sistema fotovoltaico se evitará la generación de emisiones a la atmósfera.

El ODS #13, indica una perspectiva hacia el cambio climático, siendo esta una realidad contribuyendo en el día a día, no un problema a futuro. Por consiguiente, es una realidad y un desafío a responder, siendo este uno de los mayores retos de la humanidad, pues compromete tanto a las personas que inciden o atentan el problema con estilos de vida inadecuados como a las generaciones futuras (Fiscarelli et al., 2020). Aplicando este ODS se brindará un beneficio

al reducir las emisiones corroborando con los planes de mitigación de cambio climático que permiten fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima (ONU, 2015).

En perspectiva con lo antes mencionado, el proyecto en conjunto está alineado al ODS #17, siendo considerado un objetivo esencial para mantener convenios. La empresa ELECAUSTRO S.A., se beneficiará fortaleciendo alianzas, y permitiendo la ejecución que se plantea en este trabajo para llevarse a cabo de manera satisfactoria y a su vez se considere a las personas y al medio ambiente (ONU, 2015).

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Conclusión General

El presente trabajo de titulación desarrolla el estudio de prefactibilidad de un sistema de riego con energías renovables fotovoltaica/eólica en la parroquia de Sumaypamba. El diseño del sistema se establece dentro del área aledaña al Proyecto Eólico Minas de Huascachaca en la provincia de Loja. Luego de obtener los resultados y realizar el respectivo análisis, se concluye que a través del modelamiento con HOMER Pro los parámetros de eficiencia técnica, económica y ambiental son factibles para aprovechar el recurso solar de la zona para el sistema de riego.

7.1.1.2. Conclusiones específicas

- Para estimar la cantidad de agua se consideró de forma teórica la demanda hídrica tomando en cuenta los parámetros de evapotranspiración de referencia y el factor de coeficiente único de cultivo. A partir de esto se obtuvo un volumen de agua para el reservorio de 6090 litros, los cuales servirán para el riego de diez hectáreas al día. Esto permitió que se logre un almacenamiento de agua constante para el uso agrícola en la zona, lo cual resulta favorable para la optimización del estudio ejecutado.
- A partir del análisis de los datos meteorológicos proporcionados por Elecaastro S.A., donde se toma en cuenta el recurso eólico y fotovoltaico, se concluyó que el recurso solar con mayor efectividad para su implementación, teniendo en cuenta la reducción de los costos en comparación con proyectos eólicos o híbridos analizados. Es necesario mencionar que el recurso eólico no cumple con los parámetros requeridos, debido a que se observó que los promedios de las velocidades del viento se encuentran entre 2.9 y 7.6 m/s, por lo que las características técnicas del aerogenerador ECOSOLAR AERO

0.4 kW no cuentan con factibilidad para aplicarlos en el sistema eólico, ya que la velocidad de viento con más recurrencia es 2.65 m/s y ningún otro generador se adapta a esa velocidad de viento.

- A raíz de la propuesta de alternativas para un sistema de riego basado en fuentes renovables considerando criterios técnicos, económicos y ambientales, con el apoyo del software HOMER Pro se propone una idea generalizada de los elementos que intervienen para tener costos del desarrollo del sistema. El sistema Fotovoltaico instalado en corriente continua cuenta con 1 panel de 0.4 kW, 2 baterías de 12V de gel conectadas en serie y un controlador de 12V, asegurando el bombeo en la noche con el uso y el almacenamiento de energías de las baterías. El costo estimado determinado por el software fue de \$2245, el valor de las 4 bombas de \$1162.68 teniendo un total para el sistema de riego usando energía fotovoltaica de \$3407.68, que revela una perspectiva clara con los costos específicos que son necesarios para el funcionamiento, mantenimiento y operación. A manera de conclusión, con el análisis ambiental del proyecto se destaca la reducción del 100% de las emisiones de CO₂, promoviendo de esta forma un desarrollo económico sostenible y amigable con el ambiente, lo que también contribuye al desarrollo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el Ecuador.
- Finalmente, se considera una aportación de 0.389 kg de CO₂ por día de riego en el estudio realizado ocupando motobomba con combustibles fósiles, sin embargo, al optar por un sistema fotovoltaico su disminución sería prácticamente del 100%. Siendo una de las tecnologías renovables más eficientes en la lucha contra el cambio climático, por lo tanto no contribuye al calentamiento global.

7.2. Recomendaciones

- Las limitaciones en el presente estudio se relacionan principalmente con las bases de datos analizadas, donde la información de los sensores temporales de variables de viento, temperatura y radiación solar observados, no se encuentran actualizados y muchos de ellos incompletos por fallos en los sensores, se recomienda que se use datos más actuales de las estaciones meteorológicas.
- Se sugiere que para usar este tipo de software es necesario tener conocimientos en el diseño de sistemas fotovoltaicos/eólicos o de microrredes eléctricas, ya que en caso de no tenerlos puede ser un poco más complejo entender las interacciones adecuadas con el programa y su modelación.
- Los paneles fotovoltaicos son instalaciones que generalmente están sometidas a agentes externos y a cambios de temperatura que afectan no solo los paneles si no también las conexiones eléctricas que lo integran. Por lo tanto, es importante realizar el mantenimiento de las instalaciones, dependiendo de varios factores como es la complejidad de la instalación, la climatología de la zona y contaminación ambiental en la zona de instalación del panel, ya que se producirá una disminución del filtro de radiación haciendo que la producción de la planta se reduzca.
- Se aconseja implementar un análisis para establecer un reservorio en la zona, considerando que se tiene el cálculo del volumen de agua que se debería efectuar para el riego de 10 hectáreas. Se recomienda la tecnificación de la Asociación de Agricultores de Sumaypamba con respecto a la diversificación de cultivos, considerando la exportación como producto con huella verde.

Referencias

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2014). Leyes. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/leyes/>
- Agencia Internacional de la Energía [IEA]. (2022). Energy Policy Review. <https://www.iea.org/>
- Araújo, A., Melo, G., De Medeiros, A., y Dos Santos, M. (2009). Simulación de la Producción de Energía Eléctrica con Aerogeneradores de Pequeño Tamaño. *Información Tecnológica*, 20(3), 37-44. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642009000300006>
- Arencibia, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9), 1-4.
- Asociación Empresarial Eólica. (2022). *Norma internacional IEC 61400-12-1 Ed2*. International Conference on Renewable Energy and Environment. (España).
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [BBVA]. (2022). Carlos Torres Vila, en Davos: “España puede ser un exportador de energía a Europa”. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/carlos-torres-vila-en-davos-espana-puede-ser-un-exportador-de-energia-a-europa/>
- Barrón, A., Centurión, M., Ferreyros, L., Forero, G., López, G., y Markovinovic, L. (2021). *La importancia del uso de energías renovables en centros comerciales en Lima* [Trabajo de fin de curso]. Universidad de Lima. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/14421>
- Bekelea, G., y Boneya, G. (2012). Design of a photovoltaic-wind hybrid power generation system for Ethiopian remote area. *Energy Procedia*, 14, 1760–1765. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1164>

Brown, O., y Gil, R. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia*, 28(5), 252-258.

Burbano, V. (2021). Evaluación de la pre factibilidad para la generación de energía eléctrica mediante la sinergia entre las energías eólica y almacenamiento por bombeo de agua en la isla San Cristóbal-Galápagos. *Revista Técnica Energía*, 17(2), 29-43. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.414>

Calvache, A., y Filgueira, J. (2015). *Agricultura Sostenible del Ecuador*. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/301701400_los_suelos_del_ecuador

Casanova, R., Tamayo, J., García, B., Viltres, L., Fernández, F. (2021). Propuesta de modelo predictivo inteligente para una planta fotovoltaica. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. (16), 5–9.

Castillo, A. (2019). Cooperación internacional para el desarrollo de energías renovables: energía eólica y solar en el mundo. *Política, Globalidad y Ciudadanía*, 3(6), 62–72. <https://doi.org/10.29105/pgc3.6-5>

Castells, X. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos. <https://books.google.com.cu/books?id=qYmL8Q10TYcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Cedrick, B., y Long, P. (2017). Investment Motivation in Renewable Energy: A PPP Approach. *Energy Procedia* 115, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.021>

Chamba, E., y Oyague, S. (2022). *Análisis y diseño fotovoltaico para un sistema de riego ubicado en el cantón Mocache* [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23572>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008. Reformas en el registro oficial. Suplemento de 13 de junio de 2011.

Cuji, C. (2019). *Óptima Ubicación de Aerogeneradores Basado en el Atlas Eólico para Maximizar la Potencia Generada* [Tesis de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16066/1/UPS%20-%20ST003742.pdf>

Cushicóndor, S. (2019). *Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición de variables eléctricas de paneles fotovoltaicos* [Tesis de Grado]. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20171>

De la Cruz, J., Valencia, G., y Vanegas, M. (2018). Estudio estadístico de la velocidad y la dirección del viento en los departamentos de Atlántico y Bolívar en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26(2), 319–328. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000200319>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

Dincer, I. (2018). Thermal Energy Production. *Comprehensive Energy Systems* 3, 673-706. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00335-7>

Electro Generadora del Austro [ELECAUSTRO S.A.]. (2019). ELECAUSTRO. <https://www.elecaustro.gob.ec/>

- Eltayesh, A., Castellani, F., Burlando, M., Bassily, M., Huzayyin, A., El-Batsh, H., y Becchetti, M. (2021). Experimental and numerical investigation of the effect of blade number on the aerodynamic performance of a small-scale horizontal axis wind turbine. *Alexandria Engineering Journal*, 60(4), 3931-3944. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.048>
- ENEL. (2018). *¿Qué es la energía hidroeléctrica y cómo funciona?* <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-hidroelectrica-y-como-funciona.html>
- Fiscarelli, A., Contreras, D., e Ibarra, C. (2020). Desarrollo sostenible desde la acción por el clima. *Cuadernos del CLAEH*, 39(112), 193-211. Desarrollo sostenible desde la acción por el clima. *Cuadernos del CLAEH*, 39(112), 193-211.
- Gallego, N. (2016). *Diseño de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua* [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4dffcc44-a715-4e46-a110-e79b7737c048/content>
- García, J., Huahuachampi, J., y Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la Molina. *Anales Científicos*, 78(2), 200. <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>
- García, E. (2016). *Simulación de Sistemas de Energías Renovables en EcosimPro* [Tesis de grado]. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/18036>
- García, L., y Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(3), 456-464. <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119024529014.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado de La Parroquia Sumaypamba. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Sumaypamba. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160039450001_PDO T%20SUMAYPAMBA%2012%20Oct%202015%202014-2019_14-10-2015_10-30-07.pdf

González, F., Herrera, J., López, T., y Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21–27. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400004&lng=es&tlng=es.

González, M. y Estévez, B. (2005). Participación, comunicación y negociación en conflictos ambientales: energía eólica marina en el Mar de Trafalgar. *Arbor*, 180(715), 377–392. <https://doi.org/10.3989/arbor.2005.i715.419>

Gualancañay, D., y Jaguaco, H. (2017). *Diseño de un sistema de bombeo para un almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chanchico y Tiobamba de la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi* [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4372>

Hilcu, M. (2021). *El autoconsumo fotovoltaico con o sin conexión a la red explicado*. OTOVO. <https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/autoconsumo-electrico-conectado-o-aislado/#:~:text=Autoconsumo%20con%20instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%20conectada%20a%20la%20red,-Una%20instalaci%C3%B3n%20de&text=El%20objetivo%20del%20autoconsumo%20no,y%20sostenible%20a%20largo%20plazo>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2013). *Anuario Meteorológico*.
https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2022). *Wind Energy*.
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>

Isla, P. (2017). *Estudio comparativo de la huella de carbono de motores de encendido provocado alimentados con gasolina y bioetanol* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/45573/>

Juárez, C. (2022). *Diseño un aerogenerador para obtener Energía Eólica* [Tesis de grado]. Universidad Autónoma San Francisco. <http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/681>

Juárez, S., y León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del desarrollo*, 45(178), 139-162.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0301-70362014000300007&script=sci_abstract

Khalil, L., Liaquat, K., Arslan, M., Riaz, M., Khalil, K., y Alwaz, N. (2020). Optimization and designing of hybrid power systems using HOMER pro. *Materials Today: Proceedings* 47, S110–S115. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.054>

Li, J., Liu, L., Xiong, L., Peng, N., Li, K., y Ke, C. (2020). Dynamic simulations of medium-sized hydrogen liquefiers based on EcosimPro simulation software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 755. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/755/1/012070>

- Liu, J., y Bao, H. (2022). Research on interest coordination model of wind power supply chain with energy storage participation. *Journal of Energy Storage*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104107>
- Machado, C. (2010). Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. *Organización Latinoamericana de Energía*, 88. <http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>
- Martínez, M., y Villagrán, U. (2012). *Análisis de Plantas solares termoeléctricas con y sin almacenamiento de energía* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/671?show=full>
- Mejía, L. (2014). *El Carbón: Origen, atributos, extracción y usos actuales en Colombia*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. <https://ulibros.com/el-carbon-origen-atributos-extraccion-y-usos-actuales-en-colombia-wsr74.html>
- Mendoza, I. (2018). Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero. *Ingeniería*, 22(3), 30–46. <https://www.redalyc.org/journal/467/46759491003/html/%0Ahttps://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46759491003>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *RADIACIÓN SOLAR*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Características de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Ministerio de Desarrollo Social Gobierno de Chile [CONADI]. (2017). *Cómo Determinar; Cuándo y Cuánto regar*.

http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como_determinar_cuando_y_cuanto_regar_Conadi.pdf

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y No renovables. (2020). *Balance Energético Nacional*. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/01-CAPI%CC%81TULO-01BEN-2020-Web-17-46.pdf>

Moragues, J., y Rapallini, A. (2003). Energía eólica. *Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi*. <https://www.iae.org.ar/?s=energía+eólica>

Morningstar. (s.f.). *Our Products* https://www.morningstarcorp.com/?gclid=CjwKCAiAxvGfBhBEiwAMPakqsBuK7Kzr36ScvxLEtnt8n-u-VBU6Wi7ohfda-O8pGN-NjrGM6x4MxoCHdUQAvD_BwE

Munna, H. (2019). 12 Soil Orders in Soil Taxonomy with Their Major Characteristics. *Earth Review*. <https://www.earthreview.org/12-soil-orders-in-soil-taxonomy/>

Nubia, B. (2016). El consumo responsable: Educar para la sostenibilidad ambiental. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 4(1), 29-34. <https://doi.org/10.15649/2346030X.385>

Nunez, C. (2010). ¿Qué es la energía hidroeléctrica? *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>

Obaid, W., Hamid, A., y Ghenai, C. (2019). Hybrid MPPT Controlled Solar/Wind Power System for Pumping System. *2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications, ICECTA 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICECTA48151.2019.8959772>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/70/L.1).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *El Estado Mundial De La Agricultura Y La Alimentación*. <https://www.fao.org/3/I7658S/I7658S.pdf>

Ormeño, E., Goldstein, A., y Niinemets, Ü. (2011). Extracting and trapping biogenic volatile organic compounds stored in plant species. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(7), 978-989. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.04.006>

Orosco, V., y Soria, M. (2010). *Biorremediación de vegetación contaminada con petróleo por derrames en el campamento guarumo-petroproducción* [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/225>

Ortiz, C., y Shaw, R. (2014). *Keys to Soil Taxonomy, 12th edition (Spanish translation)*. Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Ortuño, S. (2021). *El mundo del petróleo: origen, usos y escenarios*. Fondo de Cultura Económica. Fondo de Cultura Económica. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=5RLn2k91NaoC&oi=fnd&pg=PT3&dq=El+mundo+del+petr%C3%B3leo:+Origen,+usos+y+escenarios&ots=R6oG9jQ8zu&si>

g=4e0RplJFG2o7mcSP4B_HE3PZzy4&redir_esc=y#v=onpage&q=El%20mundo%20del%20petr%C3%B3leo%3A%20Origen%2C%20usos%20y%20escenarios&f=false

Pérez, S. (2012). *Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador* [Proyecto de grado]. Universidad Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/105eeca8-ce9d-4827-b30a-e3f1c2266aca/content>

Pisco, J., y Torres, Á. (2021). Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la Hacienda Quirola. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 311-317. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000200311

Pro Viento S.A. (2023). *Batería Solar de GEL vida útil prolongada 150Ah/12VDC*. <https://proviento.com.ec/baterias-solares/200-bateria-solar-de-gel-vida-util-prolongada-150ah12vdc.html>

Pro Viento S.A. (2023). *Panel Solar 400Wp /24VDC Monocristalino*. <https://proviento.com.ec/paneles-solares/223-panel-solar-400wp-24vdc-monocristalino.html>

Quintero, P. (2017). *Diseño de un Sistema de Riego con Reservorio como Alternativa de Aprovechamiento de Aguas Lluvias en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña* [Tesis de grado]. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña. <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/910/1/30557.pdf>

Relea, E. (2019). *Instalación fotovoltaica para riego de cultivo en Palencia* [Tesis de grado]. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. <https://addi.ehu.eus/handle/10810/36558>

- Requene, G. (2017). *Viabilidad Económica de la Energía Renovable Eólica en Nicaragua 2010-2015* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/5151/1/18035.pdf>
- Riccio, F. (2022). Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil. *RECIMUNDO*, 6(1), 225-231. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(1\).ene.2022.225-231](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231)
- Ruiz, D. (2021). *Modelación energética de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para zonas rurales* [Tesis de grado]. Corporación Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/8176>
- Sacchelli, S., Garegnani, G., Geri, F., Grilli, G., Paletto, A., Zambelli, P., ... Vettorato, D. (2016). Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands: An environmental and socio-economic impact analysis for Italy. *Land Use Policy*, 56, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.024>
- Serrano, X., Cantos, E., Feijoo, J., Barragán, A., y Clairand, J. (2021). Optimal tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar insolation: A case study in Ecuador. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/app11104546>
- Silva, N., Brabo, J., da Silva, E., y de Sousa, G. (2022). Occurrence of Heat Waves with Reanalysis Data in Areas of the Northeast, Amazon and Central-Southeast of Brazil. *Revista Brasileira de Meteorología*, 37(4). <https://doi.org/10.1590/0102-77863740067>
- Trujillo, D., Mosquera, F., y García, E. (2021). Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio

condominios residenciales. *Enfoque UTE*, 12(2), 19–36.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.734>

Vega, R. (2013). *Estudio comparativo de distintas tecnologías fotovoltaicas* [Tesis de grado]. Universidad Carlos III de Madrid. <https://core.ac.uk/download/pdf/29406459.pdf>

Villarrubia, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica: nuevas energías*. Alfaomega.
<https://anyflip.com/xzcp/pugt/basic>

Vivanco, E. (2020). *Energías renovables y no renovables - Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía*. BCN.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovable_ventajas_y_desventajas_final.pdf

Xiong, B., Lou, L., Meng, X., Wang, X., Ma, H., y Wang, Z. (2022). Short-term wind power forecasting based on Attention Mechanism and Deep Learning. *Electric Power Systems Research*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.107776>

Yang, Q., Zheng, M., y Chang, C. (2022). Energy policy and green innovation: A quantile investigation into renewable energy. *Renewable Energy*, 189, 1166–1175.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.04>

Anexos

Anexo A.

Ficha Técnica de los sensores 1-8 correspondientes a la estación meteorológica localizada en San Sebastián de Yúluc.

Ficha técnica de cada sensor 1-8						
Channel #	2	3	4	5	6	8
Type	1	1	3	3	4	3
Description	NRG #40C Anem m/s	NRG #40C Anem m/s	NRG 200P Vane deg	NRG 200P Vane deg	NRG BP20 Baro mb	NRG 200P Vane deg
Serial Number	195820	195822			80517420	
Height	50 m	30 m	80 m	50 m	5 m	30 m
Scale Factor	0,763	0,766	0,351	0,351	0,426	0,351
Offset	0,37	0,35	0	0	647,141	0
Units	m/s	m/s	deg	deg	mb	deg

Anexo B.

Ficha Técnica de los sensores 9-12 correspondientes a la estación meteorológica localizada en San Sebastián de Yúluc.

Ficha técnica de cada sensor 9-12						
Channel #	9	10	12	13	14	15
Type	4	4	4	1	1	1
Description	NRG 110S Temp C	NRG RH5X Humi %RH	LI-COR Pyra W/sqm	NRG #40C Anem m/s	NRG #40C Anem m/s	NRG #40C Anem m/s
Serial Number			PY76500	195818	195832	195817
Height	5 m	5 m	5 m	80 m	50 m	30 m
Scale Factor	0,136	0,097	1,269	0,765	0,765	0,764
Offset	-86,379	0	0	0,33	0,37	0,34
Units	C	%RH	W/sqm	m/s	m/s	m/s

Anexo C.

Catálogo Electrobomba Solar

tecni green

REFERENCIA	Potencia (W)	Caudal óseo promedio (l/hora)	Voltaje (VDC)	Flujo máximo (lpm)	Diámetro	Cabeza máxima (m)	Salida	Configuración recomendada paneles (Wp)	PRECIO PÚBLICO ANTES DE IVA	IVA
1 11003.76-53-24-120	120	3000	24	33	2"	33	0,75"	1*140	1.415,500	19,0%
100P13-14-48-500	500	3000	48	300	2"	14	2"	4*100	2.864,300	19,0%
2 11001.4-100-48-500	500	3000	48	24	2"	120	0,75"	2*140	1.743,100	19,0%
80A5-DC	370	4800	24	35	1"	35	1"	2*100	490,500	19,0%

Anexo D.

Ficha Técnica Batería de Gel marca ProViento

Referencia HTB-12-100

En stock 57 Artículos

FICHA TÉCNICA

Dimensiones	30 x 21 x 17 cm
Peso	30 kg
Tecnología	GEL
Voltaje	12V
Capacidad	100Ah C20
Ciclos De Vida Útil A 30% DOD	2600
Ciclos De Vida Útil A 50% DOD	1600
Ciclos De Vida Útil A 100% DOD	500
Origen	China

Anexo E.

Ficha Técnica del Panel Fotovoltaico Monocristalino

FICHA TÉCNICA

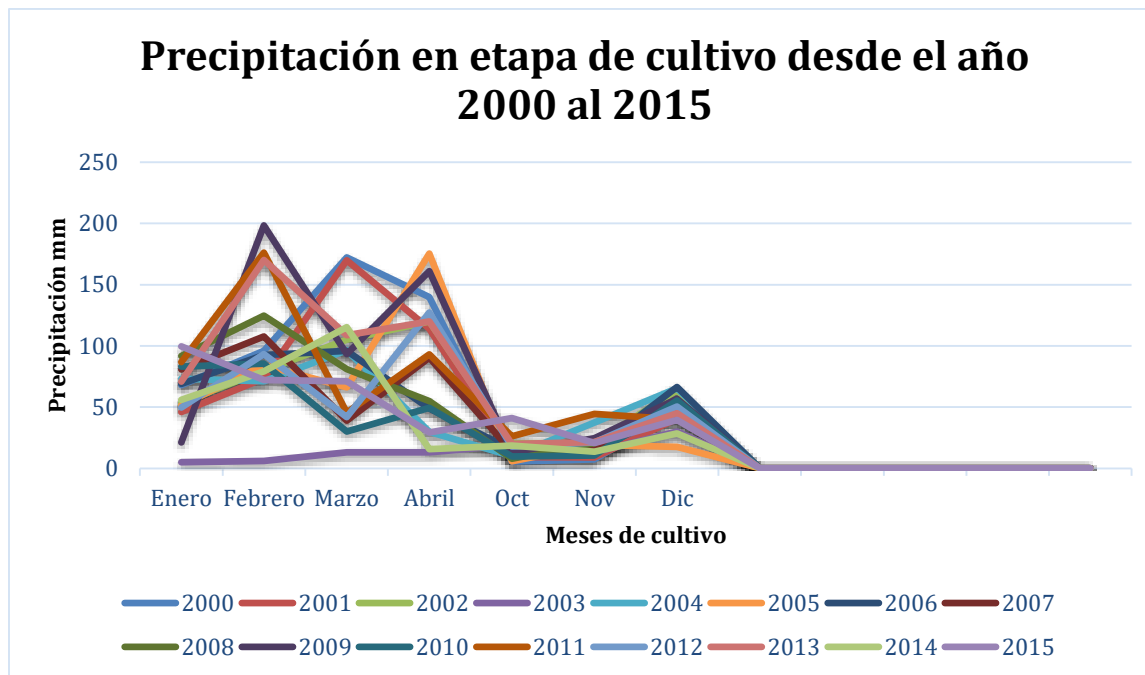
Tipo	Monocristalino
Modificación	72 células de 158mm
Voltaje Circuito Abierto Voc	48.60
Voltaje Potencia Máximo Vmp	39.92
Corriente Circuito Cerrado Isc	10.40
Corriente Potencia Máxima Imp	10.02
Eficiencia Panel	20.61 %
Dimensiones	1980*1002*40mm
Peso	22.9 kg
Voltaje	24V
Potencia	400Wp

Anexo F.

Ficha Técnica del Controlador MORNINGSTAR TriStar 60

Modelo	TS-MPPT-30	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60	TS-MPPT-60M
Clasificación de carga	30 amperios	45 amperios	60 amperios	60 amperios
max. Voltaje de circuito abierto fotovoltaico (Voc)	150 voltios	150 voltios	150 voltios	150 voltios
Voltaje nominal de la batería	12, 24, 36 o 48 V	12, 24, 36 o 48 V	12, 24, 36 o 48 V	12, 24, 36 o 48 V
Nominal máx. Potencia de funcionamiento* batería de 12 voltios	400W	600W	800W	800W
Nominal máx. Potencia de funcionamiento* batería de 24 voltios	800W	1200W	1600W	1600W
Nominal máx. Potencia de funcionamiento* batería de 48 voltios	1600W	2400W	3200W	3200W
Máxima eficiencia	99%	99%	99%	99%
Rango de voltaje de funcionamiento de la batería	8-72Vcc	8-72Vcc	8-72Vcc	8-72Vcc
Precisión de voltaje (12/24 V)	± 0.1% +/- 50mV	± 0.1% +/- 50mV	± 0.1% +/- 50mV	± 0.1% +/- 50mV
Precisión de voltaje (48 V)	± 0.1% +/- 100mV	± 0.1% +/- 100mV	± 0.1% +/- 100mV	± 0.1% +/- 100mV
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 C a +45 C	-40 C a +45 C	-40 C a +45 C	-40 C a +45 C
Garantía	5 años	5 años	5 años	5 años
Medidor incorporado				✓ SI

Anexo G. Precipitación en etapa de cultivo desde el año 2000 al 2015



Anexo H. Evidencia de la visita al sitio de estudio

