



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Análisis de la viabilidad técnica y económica del uso de
tecnologías de energías renovables solar e hidroeléctrica para
el bombeo de agua en plantaciones de cacao de una finca en la
provincia de Los Ríos”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA

Presentada por:

Jaime Enrique Sauhing Aspiazu

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que hacen
de su entorno una mera alegría.

*«Que sean otros los que se jacten de las cosas
que tienen, yo de las que pienso.» (JE, 2017).*

AGRADECIMIENTO

Ahora es como una pintura en mi mente. Alguna vez fue una casa, eso recuerdo. Negro, gris, verde, algo blanco. Cuando pienso en la casa de hacienda en donde tú caminabas conmigo, son esos los colores que veo. No sé. El roble mojado así luce. No estuve. Siempre imagino ese momento. Siento la respiración como si me escuchara a mí mismo. Camino y simulo que caminas tú. Busco el árbol que esconde el nombre de mi madre de niña junto al tuyo. Y pretendo poner el mío, porque si algo quiero es estar siempre cerca de ti. Hoy me levanto y veo lo que tú veías, y pronuncio las mismas palabras, en la lluvia hago lo que tú. Qué honor es tener tu nombre, compartir tu sangre. Abuelo.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

**Ian Sosa T., PhD.
DIRECTOR DE PROYECTO**

**Juan Peralta J., Ph.D.
VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Jaime Enrique Sauhing Aspiazu acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 09 de julio del 2025.

Jaime Enrique Sauhing Aspiazu

RESUMEN

La utilización de tecnologías para la generación eléctrica, con energías renovables, sí es posible en la zona rural de Vinces, Los Ríos (Ecuador). El estudio comparó la viabilidad técnica y económica de la implementación de la hidroelectricidad aprovechando la velocidad del río de la zona, por medio de turbinas hidrocínéticas de eje horizontal, con rotor 1 m de diámetro y 5 kW de potencia nominal, y también la generación fotovoltaica, para el bombeo de agua de riego de una finca de cacao. Se concluye que la tecnología hidrocínética es inviable en ríos de llanura de la costa central, a pesar de que las velocidades máximas del río (1.8 m/s) en invierno, son insuficientes, y el sobredimensionamiento para lograr mayores potencias, eleva los costos con (LCOE: \$0.88/kWh y ROI: -594%) y con nula generación en verano (0 kW). La energía solar fotovoltaica, resultó óptima a pesar de ser una zona con baja irradiancia (1.82 kWh/m²/día), con (FC: 0.30), y rentabilidad (LCOE: \$0.098/kWh y ROI: 507%), además tiene un periodo de recuperación en 4.9 años con TIR de 12%.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Importancia económica y social del cacao en el Ecuador	3
1.1.2. Necesidades energéticas en la producción del cacao	3
1.1.3. El riego en el cultivo de cacao	4
1.1.4. El suministro eléctrico del sector	6
1.2. Descripción del problema	7
1.3. Justificación	7
1.3.1. Potencial de los recursos locales	8
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Alcance	9
CAPÍTULO 2	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Electricidad con Renovables en Zonas Rurales	12
2.2. Evaluación del Potencial Hidroeléctrico a Pequeña Escala	12
2.2.1. Parámetros Hidrológicos	12
2.2.2. Métodos de medición In Situ en Ríos	13
2.3. Tecnologías de Conversión Energética	13
2.3.1. Turbina Hidrocinética	13
2.3.2. Estimación del Potencial Hidrocinético	14
2.4. Indicadores de Desempeño Energético y Económico	14
2.4.1. Factor de Capacidad	14
2.4.2. LCOE	14
2.4.3. VAN	15
2.4.4. TIR	15
2.4.5. ROI	15
CAPÍTULO 3	16

3.	METODOLOGÍA.....	17
3.1.	Estudio Preliminar de la Demanda Energética	17
3.1.1.	Carga Existente	17
3.1.2.	Carga Prioritaria.....	17
3.1.3.	Cargas Proyectadas	17
3.1.4.	Estimación Temporal de la Demanda	19
3.1.5.	Perfil de Carga.....	20
3.2.	Análisis de Datos Hidrológicos del Río Vines	23
3.2.1.	Evaluación del Potencial Hidrocinético	23
3.2.2.	Selección del Sistema Hidrocinético	27
3.2.3.	Evaluación Técnica del Sistema Hidrocinético	29
3.3.	Análisis de los Datos Solares.....	31
3.3.1.	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	31
3.3.2.	Selección de Áreas Potenciales.....	34
3.3.3.	Evaluación Técnica del Sistema Fotovoltaico.....	35
3.4.	Evaluación Económica	37
3.4.1.	Estimación de Inversión y Costos del kWh.....	37
3.4.2.	Estimaciones Financieras	38
	CAPÍTULO 4.....	40
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
4.1.	Conclusiones	41
4.2.	Recomendaciones.....	41
	BIBLIOGRAFÍA.....	42
	ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Caserío del recinto “Banepo”	3
Figura 1.2 Árboles de cacao plantados por habitantes del caserío del recinto “Banepo”	4
Figura 1.3 Superficie con riego en el Ecuador y Superficie con riego por tipo de cultivo.	5
Figura 1.4 Provincias y sus superficies con riego.....	5
Figura 1.5 Superficie con riego	6
Figura 1.6 Evolución de la energía por grupo de consumo 2012 – 2022	6
Figura 1.7 Tramo de Media Tensión Monofásico 7.69kV	7
Figura 1.8 Sección transversal del río Vinces	8
Figura 1.9 Cobertura de nubes de la zona rural de Vinces	8
Figura 1.10 Vista geográfica de la finca.....	10
Figura 2.1 Niveles limnimétricos del río Vinces	12
Figura 2.2 Factores de capacidad estimados para sistemas fotovoltaicos comerciales e industriales, < 3.75 kWh/m ² /día	14
Figura 2.3 LCOE proyectados hasta el 2050, para proyectos fotovoltaicos comerciales e industriales, < 3.75 kWh/m ² /día	15
Figura 3.1 Distribución temporal de precipitación acumulada.....	19
Figura 3.3 Perfil de carga escenario 1, de enero a abril.....	22
Figura 3.4 Perfil de carga escenario 1, mayo	22
Figura 3.5 Perfil de carga escenario 1, de junio a diciembre	22
Figura 3.6 Perfil de carga escenario 2, de enero a abril.....	23
Figura 3.7 Perfil de carga escenario 2, mayo	23
Figura 3.8 Perfil de carga escenario 2, de junio a diciembre	23
Figura 3.9 Registros de caudales del río Vinces 2008 - 2013.....	24
Figura 3.10 Medición de velocidad (V _s) del río	25
Figura 3.11 Sección transversal típica del río Vinces en la zona	26
Figura 3.12 Perfil de velocidades del río Vinces en la zona.....	26
Figura 3.13 Potencia eléctrica teórica generada según la velocidad en el río Vinces durante el año.....	27
Figura 3.14 Energía teórica proyectada del río Vinces durante el año	27
Figura 3.15 Curva de potencia de la turbina Smart Monofloat 5 kW respecto a las velocidades del río Vinces.....	28
Figura 3.16 Diagrama de bloques del sistema hidrocínético.....	28
Figura 3.17 Estimación de la generación con Smart Monofloat, configuración aislada	29
Figura 3.18 Estimación de la generación con 3 Smart Monofloat, configuración paralela	30
Figura 3.19 Irradiancia mínima, media y máxima histórica del 2010 al 2024 de la zona estudiada	31
Figura 3.20 Temperaturas de la zona de interés	32
Figura 3.21 Arreglo de módulos fotovoltaicos de escenario 1.....	34
Figura 3.22 Arreglo de módulos fotovoltaicos de escenario 2.....	34
Figura 3.23 Simulación de sombras respecto la puesta de sol.....	34

Figura 3.24 Estimación de la generación del sistema fotovoltaico escenario 1, época seca	35
Figura 3.25 Estimación de la generación del sistema fotovoltaico escenario 2, época seca	36

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Características de las turbinas hidrocinéticas	13
Tabla 3.1 Consumo energético diario de las cargas en la villa del guardia.....	17
Tabla 3.2 Consumo energético mensual de la villa del guardia.....	17
Tabla 3.3 Características técnicas de la bomba eléctrica	18
Tabla 3.4 Estimación del consumo diario de cargas del Laboratorio	18
Tabla 3.5 Estimación del consumo energético mensual del laboratorio	18
Tabla 3.6 Características técnicas de la secadora eléctrica de cacao	19
Tabla 3.7 Estimación de consumo por día de la secadora	19
Tabla 3.8 Ciclos de riego.....	20
Tabla 3.9 Estimación de consumo de la bomba por día	20
Tabla 3.10 Ciclo de riego de invierno para mayo	21
Tabla 3.11 Estimación de consumo por día de la bomba en el mes de mayo	22
Tabla 3.12 Registro de mediciones en abril 2025 de velocidades en sitio	25
Tabla 3.13 Evaluación del rendimiento del sistema hidrocinético.....	30
Tabla 3.14 Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos	32
Tabla 3.15 Criterios para la selección del inversor del sistema fotovoltaico	33
Tabla 3.16 Evaluación del rendimiento del sistema fotovoltaico.....	36
Tabla 3.17 Estimación del LCOE de los sistemas en sus dos escenarios	37
Tabla 3.18 Estimación del VAN, TIR y ROI de los sistemas, escenario 1	38
Tabla 3.19 Estimación del VAN, TIR y ROI de los sistemas, escenario 2	39
Tabla 3.20 Estimación del ROI de los sistemas a diesel y red eléctrica.....	39

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

A inicios del siglo XX, Vinces fue una de las primeras ciudades de Ecuador en tener electricidad, solo precedida por Guayaquil. Un siglo después, en 2025, un medio informaba que habitantes de un sector rural de esa misma ciudad finalmente iban a contar con infraestructura eléctrica. Y es que tener luz en el país se volvió un tema de celebración tras los apagones nacionales iniciados en 2023, que se agravaron en 2024 con un blackout masivo, evidenciando la ineficiencia y falta de planificación del sistema eléctrico ecuatoriano. Desde entonces, la generación propia de electricidad ha crecido, siendo la fotovoltaica la más demandada con un incremento del 300%.

En 1907, las haciendas vinceñas, reconocidas por producir la Pepa de Oro o alimento de los dioses en la tradición local, tuvieron su auge económico hasta que, en 1922, el hongo “escoba de bruja” arrasó las plantaciones. Esto llevó a la bancarrota a familias de los Gran Cacao, como se les conocía, y fragmentó los territorios cacaoteros. En 2024, resurge un nuevo boom: los mercados elevaron el precio del cacao tras la contaminación de un hongo a cultivos africanos responsables del 75% de la oferta global, lo que obligó a sus productores a resembrar plantaciones completas.

La hacienda San Salvador, que mantiene la producción tradicional de cacao nacional fino de aroma, necesita modernizar su sistema de bombeo actual (una motobomba diésel). Los propietarios identificaron sus altos costos operativos volátiles (\$3,175.28 anuales) y la contaminación por gases de efecto invernadero. Así surgen interrogantes clave: ¿la irradiancia solar local será suficiente para un sistema de bombeo? ¿El río adyacente tiene potencial hidroeléctrico? ¿Será viable? Si bien estas alternativas se han implementado en zonas rurales con subsidios gubernamentales o de organismos que financian proyectos en países en desarrollo, este es un proyecto privado. Por ello, se sugiere un análisis técnico-económico con indicadores especializados: LCOE (costo nivelado de energía), VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno), ROI (retorno de inversión) y periodo de recuperación. Estos datos proporcionarán a los propietarios y demás productores de cacao de Los Ríos, información documentada para elegir la tecnología renovable más adecuada según sus recursos, reduciendo costos, aumentando resiliencia climática y promoviendo una agricultura sostenible.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Importancia económica y social del cacao en el Ecuador

Más de 120 mil familias se relacionan con los trabajos agronómicos del cacao. Y de acuerdo con las cifras del ministerio de agricultura, más de 540 mil hectáreas sembradas en todo el Ecuador, con las que 600 mil personas se emplean en su producción, siendo un 8% del PIB agrícola. (MAGAP, 2024)

El cultivo de cacao en Los Ríos ya ocupa 124.019 hectáreas de superficie plantada, y el 93.69% de los predios sembrados, son sus propios dueños. (SIPA, 2025).

1.1.1.1. Impacto socioeconómico en los habitantes del sector

Maritza L. es habitante de un caserío del recinto “Banepo”, solo el ancho de la carretera de 1 carril es la distancia que separa su casa de las orillas del río Vences, se pueden ver árboles de cacao como deteniendo el agua, los que ella asegura no haberlos sembrado. Figura 1.1. Los terrenos habitados son de aproximadamente 0.7 hectáreas, y restando el área de construcción de vivienda y otras facilidades, tienen un espacio cultivado de entre 80 a 170 árboles de cacao, varias plantas frutales y otro lugar, para el tiempo del maíz. Figura 1.2

Otra residente, Judith A. comentó que, desde la subida del precio del grano (febrero del 2024), volvió a cuidarlo y a cosecharlo de manera seria, y ya no asiste al seguro campesino de la que es afiliada, en busca de medicamento, ahora compra sus propias medicinas para su presión alta. La ayudan sus sobrinos, quienes también reciben una remuneración por la labor del campo. De acuerdo con sus pequeñas plantaciones, los comuneros recolectan de 88 a 95 libras por mes, lo que equivaldría a unos \$286, según el humor del mercado reflejado en la bolsa de valores.



Figura 1.1 Caserío del recinto “Banepo”

Fuente: Autor

1.1.2. Necesidades energéticas en la producción del cacao

Una de las más importantes labores en la agricultura es el riego, como principal actividad para que prospere el cultivo y eventualmente su cosecha. El uso de bombas de alto caballaje con motores a diesel, son frecuentemente usadas, aun siendo

significativamente contaminantes, ruidosas y derrochadores de agua, es imperativo que sean desestimadas para los proyectos agroindustriales, mientras que las bombas eléctricas, son de alta eficiencia, silenciosas y es posible controlar la demanda del agua bombeada, gracias a equipos electrónicos, de esta manera se garantiza el uso correcto y necesaria de agua para el riego, además de limitar la potencia eléctrica consumida.

El cacao ya en su etapa de poscosecha, requiere procesamiento de fermentación que toman lapsos de tiempo de entre 24 a 72 horas, bajo temperaturas controladas. Y así mismo, para su secado a nivel de fincas, utilizan equipo especializado ya sea con quema de gas licuado con las llamas manipuladas por sopladores, es decir maquinas eléctricas, o el uso de resistencias eléctricas para un control optimo de la temperatura. Finalmente, su almacenamiento.



Figura 1.2 Árboles de cacao plantados por habitantes del caserío del recinto “Banepo”

Fuente: Autor

1.1.3. El riego en el cultivo de cacao

En el sector agrícola, y específicamente en el cultivo del cacao, la disponibilidad y uso del agua es un factor crítico para garantizar la productividad y la calidad del producto final. Tradicionalmente, el bombeo de agua para riego en estas plantaciones se ha basado en fuentes de energías convencionales, generando impactos negativos en el medio ambiente y su operación son susceptibles a las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles.

Entre las tareas del campo, tanto el riego como el drenaje son claves en el cultivo de cacao, ambas actividades dependerán en gran medida del clima y de las características del suelo, todo, para garantizar el correcto crecimiento del árbol. (Balcazar, 2020).

Es claro que el riego de los cultivos de forma particular es insuficiente; también se pueden regar convenientemente ajustando la repetición y la frecuencia de uso de acuerdo con las condiciones únicas de cultivo, clima y suelo. El cacao es considerado un tipo de cultivo permanente.

El cultivo del cacao es responsable de la mayoría de las emisiones de efecto invernadero en la producción del chocolate (1 kg de cacao emite 23,2 kg de CO2 de media a nivel mundial) y el 95 % de su impacto en carbono se debe a la deforestación. (Valrhona, 2023).

Para el 2023 se estimaba que al menos el 24% de la superficie cultivada del Ecuador disponían de algún tipo de riego. (INEC, 2024) En la Figura 1.3 se aprecian los resultados.



Figura 1.3 Superficie con riego en el Ecuador y Superficie con riego por tipo de cultivo.

Fuente: (INEC, 2024)

De acuerdo con las provincias, la siguiente Figura 1.4 muestra las superficies bajo riego y sin riego, esto en relación de la superficie sembrada.

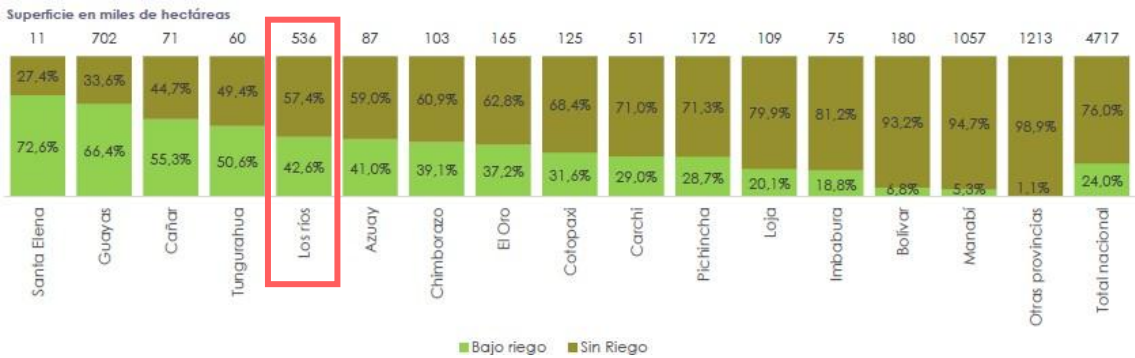


Figura 1.4 Provincias y sus superficies con riego

Fuente: (INEC, 2024)

La Figura 1.5 muestra que las superficies de cultivo de cacao apenas tienen riego implementado. (INEC, 2024).



Figura 1.5 Superficie con riego

Fuente: (INEC, 2024)

1.1.4. El suministro eléctrico del sector

De acuerdo con el Plan Maestro de Electricidad, el programa de electrificación rural y urbano marginal (FERUM) objeta implementar proyectos eléctricos para mejorar las condiciones de vida de la población rural y urbano marginal, de menores recursos. Y de acuerdo con la tabla de inversiones totales, se tiene previsto una inversión de 0,29 millones de dólares hasta el 2032. Las categorías de demanda residencial, industrial, comercial y otros, este último es el segmento en que se encuentran los sistemas de bombeo y agroindustria. En la Figura 1.6 podemos observar que el sector “Otros” ha tenido un crecimiento del 87% del 2012 al 2022. (PEM, 2024)

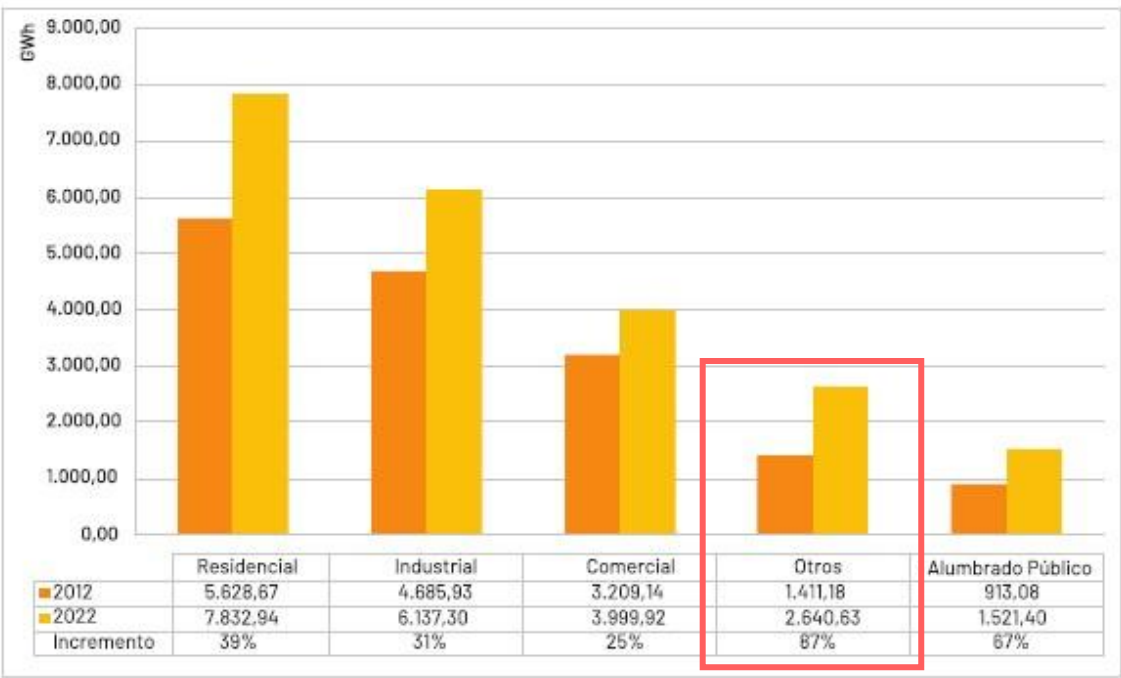


Figura 1.6 Evolución de la energía por grupo de consumo 2012 – 2022

Fuente: (PEM, 2024)

En la zona rural del cantón Vines, los escasos tendidos que llevan el suministro eléctrico a comunidades del sector, son de categoría residencial de baja demanda. Por lo que las haciendas que se encuentran en el lugar no pueden usar esa electricidad para los sistemas de bombeo. La finca objetivo se encuentra del otro lado del río de donde pasa el tendido eléctrico por parte de CNEL. Figura 1.7.



Figura 1.7 Tramo de Media Tensión Monofásico 7.69kV

Fuente: (CNEL EP, 2025)

1.2. Descripción del problema

Los propietarios de la finca “San Salvador”, enfrentan un desafío en cuanto al servicio eléctrico por la falta de electrificación de la zona, recurso que necesitan para el accionamiento de sus nuevos equipos de bombeo. Los propietarios han considerado descartar contundentemente, el uso de bombas de riego que funcionen con combustibles fósiles, por motivos de la contaminación que estos generan, el riesgo de transportación del combustible a la locación, el cuidado de manipular líquidos inflamables en un área donde las hojas de cacao son mayormente secas y fáciles de incinerar.

1.3. Justificación

La finca cacaotera en estudio, actualmente riega parte de su cultivo, utilizando una motobomba a diesel, la maquina supone un alto costo de operación, limitando inclusive la sostenibilidad económica y ambiental de la finca. La zona colinda con el río Vines, del que se podría aprovechar su fuerza cinética para mover una turbina hidrocínética, además, la energía solar, la propiedad cuenta con espacios del tejado de un galpón, y áreas despejadas para que se instalen módulos fotovoltaicos. Con la implementación de tecnologías de energías renovables, se logra la confiabilidad energética de la finca.

1.3.1.3. Sostenibilidad

Con la sustitución de las motobombas de diesel por bombas eléctricas, alimentadas con electricidad generada con energía renovables, disminuye emisiones de CO₂, protege el ecosistema, conserva recursos, uno de ellos en gran medida el hídrico.

1.3.1.4. Autonomía energética

La implementación de tecnologías de energías renovables logra la confiabilidad energética de la finca.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica y económica del uso de tecnologías de energía renovable solar e hidroeléctrica para el bombeo de agua en plantaciones de cacao de la finca ubicada en la Provincia de Los Ríos.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el potencial solar e hidroeléctrico de la finca para el funcionamiento de los equipos de bombeo.
- b. Analizar la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema de generación hidroeléctrica.
- c. Realizar un análisis económico comparativo de las tecnologías, considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento

1.5. Alcance

La investigación pretende identificar cuál de las dos tecnologías de energía renovable es la más adecuada para el accionamiento del sistema de bombeo de la finca, ya sea la hidroeléctrica, la fotovoltaica, o ambas.

El trabajo se concentra en el análisis técnico del recurso hidráulico del río que colinda con la finca, para posteriormente de acuerdo con sus características, seleccionar y dimensionar el sistema hidroeléctrico. Así mismo evaluar las zonas abiertas de la finca para la ubicación del sistema fotovoltaico. Ambos sistemas con sus respectivos análisis para las consideraciones de viabilidad económica.

No se considera realizar evaluaciones técnicas ni económicas para el interconectado con la red pública y de que eventualmente sea parte del suministro eléctrico de la zona, es decir, nada que no sea para suplir la demanda exclusivamente de la finca “San Salvador”, ubicada en la zona rural del cantón Vinces, Los Ríos. Figura 1.10.



Figura 1.10 Vista geográfica de la finca

Fuente: (Google Earth Pro, 2025)

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Electricidad con Renovables en Zonas Rurales

El aspecto más determinante para que la ruralidad ecuatoriana, no goce de electrificación de la red nacional, es el económico. Según (OLADE, 2009) la electrificación rural es posible con los sistemas autónomos o aislados basados en energías renovables, como la solar, eólica, hidráulica y de biomasa. Además, analizan que las zonas tienen distintas demandas, es decir, aplicaciones variadas, ya sean para uso doméstico, alumbrado, riego, secado, conservación de alimentos y de mantenimiento de cultivos. El Ecuador reconoce a la electricidad como un derecho fundamental, dice, que ley busca eliminar la desigualdad entre las zonas urbanas y rurales. Uno de los artículos (63) de la Ley Organiza del Servicio Público de Energía Eléctrica, impulsa la organización de las comunidades, a que se agrupen con figura de «asociaciones de electrificación rural» y puedan gestionar sus proyectos eléctricos. Para los subsidios y financiamiento existe el Fondo de Electrificación Rural y Urbano-Marginal (FERUM), ese fondo es financiado en parte por los ingresos de la tarifa eléctrica nacional, recursos directos del estado y donaciones junto a préstamos de entidades internacionales como el BID.

2.2. Evaluación del Potencial Hidroeléctrico a Pequeña Escala

2.2.1. Parámetros Hidrológicos

En Ecuador el organismo estatal que se encarga de realizar los análisis hidrológicos en los ríos es el INAMHI, aunque se tienen actualizados solo hasta el 2013. En los anuarios hidrológicos se tienen los caudales medidos en todo el año y los niveles limnimétricos. En la Figura 2.1 se aprecia una tabla de datos de caudales.

VINCES EN VINCES-DCP												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1	1.25 *	3.9 *	4.99 *	5.87 *	4.25 *	2.8 *	1.95 *	1.56 *	1.29 *	1.22 *	0.77 *	0.88 *
2	1.21 *	3.9 *	5.01 *	5.5 *	4.06 *	2.65 *	1.86 *	1.54 *	1.26 *	1.22 *	0.75 *	0.84 *
3	1.25 *	4.1 *	5.06 *	5.06 *	4.16 *	2.67 *	1.88 *	1.52 *	1.29 *	1.1 *	0.82 *	0.75 *
4	1.31 *	4.27 *	5.32 *	4.93 *	3.88 *	2.6 *	1.85 *	1.49 *	1.26 *	1.25 *	0.84 *	0.73 *
5	1.4 *	4.28 *	5.65 *	4.9 *	3.72 *	2.76 *	1.76 *	1.46 *	1.25 *	1.18 *	0.88 *	0.79 *
6	1.44 *	4.05 *	5.66 *	4.48 *	3.45 *	2.64 *	1.83 *	1.53 *	1.25 *	1.23 *	0.83 *	0.83 *
7	1.53 *	4.08 *	5.74 *	4.72 *	3.42 *	2.62 *	1.82 *	1.43 *	1.23 *	1.23 *	0.76 *	0.82 *
8	1.56 *	4 *	6.71 *	4.43 *	3.56 *	2.3 *	1.82 *	1.41 *	1.25 *	1.17 *	0.85 *	0.85 *
9	1.65 *	3.97 *	6.49 *	4.6 *	3.82 *	2.39 *	1.85 *	1.45 *	1.26 *	1.09 *	0.89 *	0.89 *
10	1.58 *	5.41 *	6.16 *	5.04 *	3.16 *	2.44 *	1.76 *	1.48 *	1.27 *	1.07 *	0.75 *	1.17 *
11	1.66 *	5.03 *	5.68 *	5.55 *	2.96 *	2.44 *	1.72 *	1.45 *	1.24 *	1.05 *	0.85 *	2.26 *
12	1.66 *	5.71 *	5.38 *	5.98 *	2.96 *	2.55 *	1.71 *	1.46 *	1.22 *	0.98 *	0.92 *	0.99 *
13	1.68 *	6.5 *	5.36 *	5.85 *	3.08 *	2.45 *	1.69 *	1.46 *	1.2 *	0.83 *	0.87 *	0.97 *
14	2.18 *	6.34 *	5.81 *	5.96 *	3.02 *	2.53 *	1.74 *	1.48 *	1.19 *	0.82 *	0.89 *	0.99 *
15	3.07 *	6.18 *	5.55 *	5.55 *	2.73 *	2.5 *	1.79 *	1.48 *	1.26 *	0.8 *	0.86 *	0.97 *
16	3.95 *	5.6 *	5.23 *	5.55 *	2.56 *	2.36 *	1.64 *	1.49 *	1.25 *	0.72 *	0.84 *	0.98 *
17	3.77 *	5.67 *	5.63 *	5.39 *	2.94 *	2.38 *	1.65 *	1.47 *	1.23 *	0.79 *	0.83 *	0.99 *
18	3.83 *	5.45 *	5.37 *	6.02 *	2.77 *	2.32 *	1.67 *	1.45 *	1.17 *	0.75 *	0.89 *	0.97 *
19	3.8 *	5.56 *	6.45 *	6.55 *	2.62 *	2.25 *	1.65 *	1.49 *	1.15 *	0.82 *	0.88 *	1.14 *
20	3.49 *	5.34 *	6.34 *	6.86 *	2.71 *	2.13 *	1.63 *	1.47 *	1.16 *	0.86 *	0.88 *	1.83 *
21	3.35 *	4.49 *	6.27 *	7.31 *	2.72 *	2.08 *	1.67 *	1.34 *	1.15 *	0.84 *	0.86 *	1.43 *
22	3.51 *	4.25 *	5.74 *	7.39 *	2.76 *	1.96 *	1.67 *	1.32 *	1.14 *	0.79 *	0.89 *	1.68 *
23	3.39 *	4.12 *	5.45 *	7.34 *	2.96 *	1.85 *	1.68 *	1.32 *	1.21 *	0.79 *	0.86 *	1.43 *
24	3.31 *	4.18 *	5.23 *	6.86 *	2.74 *	1.99 *	1.64 *	1.32 *	1.29 *	0.76 *	0.89 *	1.35 *
25	3.76 *	4.26 *	5.39 *	6.33 *	2.62 *	1.93 *	1.64 *	1.33 *	1.27 *	0.76 *	0.86 *	1.29 *
26	3.98 *	4.2 *	5.7 *	5.84 *	3.17 *	1.94 *	1.63 *	1.36 *	1.24 *	0.77 *	0.93 *	1.37 *
27	4.3 *	4.51 *	6.61 *	5.48 *	3.08 *	1.98 *	1.56 *	1.38 *	1.19 *	0.76 *	0.88 *	1.51 *
28	4.39 *	4.62 *	6.44 *	5.08 *	2.75 *	1.94 *	1.59 *	1.35 *	1.22 *	0.78 *	0.87 *	1.33 *
29	4.25 *		6.84 *	4.85 *	2.75 *	1.92 *	1.63 *	1.32 *	1.15 *	0.77 *	0.85 *	1.86 *
30	3.99 *		6.6 *	4.44 *	2.79 *	1.93 *	1.59 *	1.3 *	1.23 *	0.79 *	0.86 *	1.55 *
31	3.86 *		6.4 *		2.85 *		1.52 *	1.26 *		0.76 *		1.52 *
Nivel Max.	4.44 *	6.58 *	6.88 *	7.39 *	4.29 *	3.34 *	1.96 *	1.57 *	1.31 *	1.26 *	0.96 *	2.27 *
Día	27	13	29	22	1	1	1	6	2	4	19	11
Hora	17	17	17	7	7	7	17	7	7	7	7	7
Nivel Min.	1.19 *	3.84 *	4.9 *	4.05 *	2.02 *	1.8 *	1.47 *	1.2 *	1.1 *	0.7 *	0.7 *	0.72 *
Día	2	1	1	6	31	23	31	31	27	15	7	4
Hora	7	7	7	7	7	7	17	17	17	7	17	17
Nivel Medio	2.75	4.78	5.81	5.65	3.13	2.31	1.71	1.42	1.22	0.92	0.85	1.19

NOTA: * DATOS LIMNIMÉTRICOS

Figura 2.1 Niveles limnimétricos del río Vices

Fuente: (INAMHI, 2017)

2.2.2. Métodos de medición In Situ en Ríos

De acuerdo con (ISO, 2021) Anexo B, el principal método para medir la velocidad en río, sin uso de instrumentos, es el uso de flotadores: trozos de madera, pelotas, inclusive frutas como la naranja. Su procedimiento es sencillo;

1. Seleccionar un tramo recto del río con flujo uniforme.
2. Medir una distancia L entre dos secciones transversales (aguas arriba y aguas abajo).
3. Liberar el flotador aguas arriba de la primera sección.
4. Cronometrar el tiempo t que tarda en recorrer L .
5. Calcular la velocidad superficial $V_s = \frac{L}{t}$ (m/s)

Una vez obtenida la velocidad superficial, se debe de convertir la a velocidad media, utilizando un coeficiente de corrección, $V_m = K_f \cdot V_s$.

Para la medición de la sección transversal del río se requiere seguir los siguientes pasos;

1. Medir el ancho
2. Medir profundidades
3. Calcular el área mojada

2.3. Tecnologías de Conversión Energética

La electricidad se genera transformando diversas fuentes de energía mediante procesos de conversión específicos. Fuentes renovables como la eólica, la solar, la hidráulica y la biomasa, así como la energía cinética del agua (hidrocinética), se convierten en energía eléctrica utilizable. Para ello se emplean tecnologías como turbinas de vapor, turbinas hidráulicas, aerogeneradores (eólica), turbinas hidrocinéticas y módulos fotovoltaicos.

2.3.1. Turbina Hidrocinética

Estas turbinas convierten la energía cinética de corrientes de agua como ríos, mareas, canales en electricidad, sin el impacto de las obras civiles que se tienen en la hidroelectricidad convencional. En la Tabla 2.1 se aprecian los tipos de turbinas

Tabla 2.1
Características de las turbinas hidrocinéticas

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas
Eje Horizontal	Similar a turbinas eólicas. Palas con ángulo de ataque constante.	Alta eficiencia (C_p hasta 0.45-0.59).	Sensible a dirección de la corriente.
Eje Vertical	Palas rotan alrededor de eje vertical (Gorlov, Darrieus).	Funciona con flujos multidireccionales.	Bajo par de arranque y eficiencia (C_p a 0.3).
Con Difusor	Tubo que acelera el flujo antes de la turbina (efecto Venturi).	Aumenta C_p hasta superar límite de Betz (1.74 en estudios).	Mayor complejidad y costo.

Fuente: (Iliev, Todorov, Kamberov, & Zlatev, 2025)

2.3.2. Estimación del Potencial Hidrocinético

El potencial teórico de la energía cinética contenida en el flujo del río, sin considerar pérdidas. Se calcula con la ecuación fundamental de la energía hidrocinética $P_{HKTdisponible} = \frac{1}{2}\rho A_T V^3$, mientras que, el potencial real depende de la eficiencia de la turbina y se calcula: $P_{HKTreal} = \frac{1}{2}\rho A_T V^3 C_p$. El Coeficiente de potencia (eficiencia hidrodinámica), con valor máximo teórico de 0.593 (59.3 % límite de Betz). La velocidad del flujo es crucial, por lo que se tiene que validar esa variable. (Paniagua-García et al, 2024).

2.4. Indicadores de Desempeño Energético y Económico

2.4.1. Factor de Capacidad

Es un indicador clave para evaluar la eficiencia operativa de un sistema de generación eléctrica. (Turner, Ghimire, Hansen, Singh, & Kao, 2023)

$$FC = \frac{\text{Generación Anual Real [MWh]}}{\text{Generación Máxima Teórica Anual [MWh]}} \times 100 \%$$

De acuerdo con (NREL, 2025) un factor de capacidad para un sistema fotovoltaico comercial o industrial de una irradiancia de $< 3.75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, tiene como mínimo un 12 % a 19 % para ser considerado viable técnicamente. En la Figura 2.2 se aprecian los factores de capacidad proyectados, de acuerdo con los años de avance tecnológico, conservador (azul), moderado (naranja) y avanzado (verde).

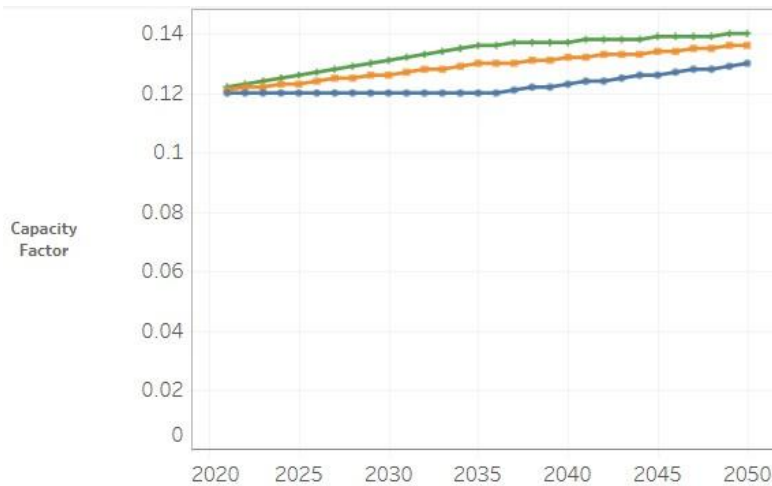


Figura 2.2 Factores de capacidad estimados para sistemas fotovoltaicos comerciales e industriales, $< 3.75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$

Fuente: (NREL, 2025)

2.4.2. LCOE

Es el costo nivelado de la energía generada por un proyecto energético, considerando toda su vida útil. (Irena & I.R.E.A., 2012). En la Figura 2.3 se muestran los costos estimados del MWh hasta el 2050 para sistemas fotovoltaicos comerciales e industriales $< 3.75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, de acuerdo los análisis de (NREL, 2025). Conservador (azul), moderado (naranja) y avanzado (verde).

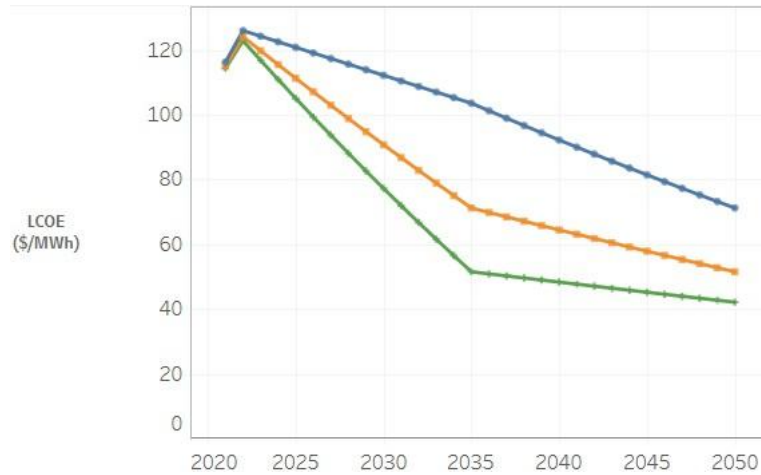


Figura 2.3 LCOE proyectados hasta el 2050, para proyectos fotovoltaicos comerciales e industriales, < 3.75 kWh/m²/día

Autor: (NREL, 2025)

La ecuación estándar del LCOE a continuación:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Siendo " I_t " la Inversión en el año (CAPEX), " M_t " costos de operación y mantenimiento (OPEX), " F_t " costos de combustible (en caso de aplicar), " E_t " Energía generada en el año, " r " tasa de descuento real, y " n " vida útil del proyecto.

2.4.3. VAN

Es el valor actual neto, y presente de los flujos de caja proyectadas menos la inversión inicial; se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

2.4.4. TIR

La tasa interna de retorno, o de descuento que hace el VAN en cero. Se lo calcula así:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

2.4.5. ROI

El retorno de la inversión, siendo la razón entre los beneficios netos y la inversión total:

$$ROI = \frac{\text{Beneficios Netos}}{\text{Inversion Inicial}} \times 100 \%$$

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Estudio Preliminar de la Demanda Energética

Se estima y proyecta la demanda energética de la finca, no solo para el sistema de bombeo de riego (objeto central del estudio), sino también para otros procesos asociados a la producción de cacao. Esto permitirá dimensionar adecuadamente los sistemas renovables: solar e hidroeléctrico.

3.1.1. Carga Existente

La villa del guardia es la única edificación que contiene en su interior aparatos eléctricos, cuya alimentación es de 110 V 1F. Las cargas se presentan a detalle en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1
Consumo energético diario de las cargas en la villa del guardia

Carga	Potencia [W]	Tiempo [h]	Consumo diario [kWh]
Iluminación	25.00	4.00	0.10
Televisor	170.00	4.00	0.68
Ventilador	80.00	6.00	0.48
Refrigerador	25.00	12.00	0.30
Electrónicos	35.00	24.00	0.84

Fuente: Autor

En la siguiente Tabla 3.2 se obtiene ya el consumo mensual de la vivienda que es utilizada por el guardia de la finca.

Tabla 3.2
Consumo energético mensual de la villa del guardia

Carga	Tiempo [d]	Consumo diario [kWh]	Consumo mes [kWh]
Villa del guardia	30.00	2.40	72.00

Fuente: Autor

3.1.2. Carga Prioritaria

Como eje central de la transición tecnológica, los propietarios de la finca sustituyen la motobomba diesel, por un sistema de bombeo eléctrico para el riego de las 10 hectáreas de plantación que comprenden la primera etapa de siembra. En la

Tabla 3.3 se muestran los datos de la bomba eléctrica que ha sido seleccionada previamente por un profesional hidráulico que desarrolló el sistema de riego de la finca.

3.1.3. Cargas Proyectadas

El plan estratégico de los propietarios también incluye para el futuro, la construcción de un laboratorio de control de calidad y la adquisición de una secadora eléctrica de cacao. Se analizan en los siguientes puntos.

Tabla 3.3
Características técnicas de la bomba eléctrica

Equipo	Potencia [kW]	Eficiencia [%]	Tamaño de motor [in]
Bomba 325 GPM INOX 460 V 3F 60/50 Hz	15.00	80.00	6.00

Fuente: (Franklin Electric, 2022)

Para más detalles del equipo de bombeo la ficha técnica se aloja en los anexos de este documento.

3.1.3.1. Demanda Eléctrica del Laboratorio

La información que se recibió por parte de los propietarios sobre los equipos que compondrían dicho laboratorio se documentan estimando la demanda diaria en la Tabla 3.4. y mensual en la Tabla 3.5.

Tabla 3.4
Estimación del consumo diario de cargas del Laboratorio

Carga	Potencia [kW]	Tiempo [h]	Consumo diario [kWh]
Espectrofotómetro (UV-Vis)	0.80	3.00	2.40
Analizador de humedad	0.30	4.00	1.20
pH-metro digital	0.20	2.00	0.40
Estufa de secado	1.00	5.00	5.00
Incubadora de fermentación	0.80	4.00	3.20
Balanza	0.10	4.00	0.40
Mini-split 12 kBTU	1.00	6.00	6.00
Iluminación	0.50	8.00	4.00
Laptop e impresora térmica	0.10	6.00	0.60
UPS	0.30	2.00	0.60

Fuente: Autor

Tabla 3.5
Estimación del consumo energético mensual del laboratorio

Carga	Tiempo [d]	Consumo diario [kWh]	Consumo mes [kWh]
Laboratorio	10.00	23.80	238.00

Fuente: Autor

3.1.3.2. Secadora Eléctrica de Cacao

A continuación, se presenta en la Tabla 3.6, las características eléctricas de la secadora de cacao que los propietarios de la finca tienen proyectado adquirir en el futuro.

Tabla 3.6
Características técnicas de la secadora eléctrica de cacao

Componentes	Potencia [kW]	Eficiencia [%]
Motores 3F, 460 V	2.25	85.00
Sección térmica Resistencia 3F, 460 V	16.50	100.00

Fuente: (WILPAC, 2025)

En la Tabla 3.7 se detalla la demanda proyectada de la secadora.

Tabla 3.7
Estimación de consumo por día de la secadora

Datos	Cantidad
Tiempo de uso [h]	5.00
Potencia de Motores [kW]	2.25
Eficiencia de Motores [%]	85.00
Potencia de Resistencias [kW]	16.00
Energía consumida [kWh]	82.65

Fuente: Autor

3.1.4. Estimación Temporal de la Demanda

3.1.4.1. Sistema de Bombeo

Se analizaron los históricos de precipitaciones de la zona, ya que el tiempo de operación del sistema de bombeo depende principalmente de la estacionalidad. Durante el invierno, la ocurrencia de lluvias disminuye significativamente la demanda de riego suplementario. Se observa en la Figura 3.1 los meses en que las lluvias son más recurrentes.

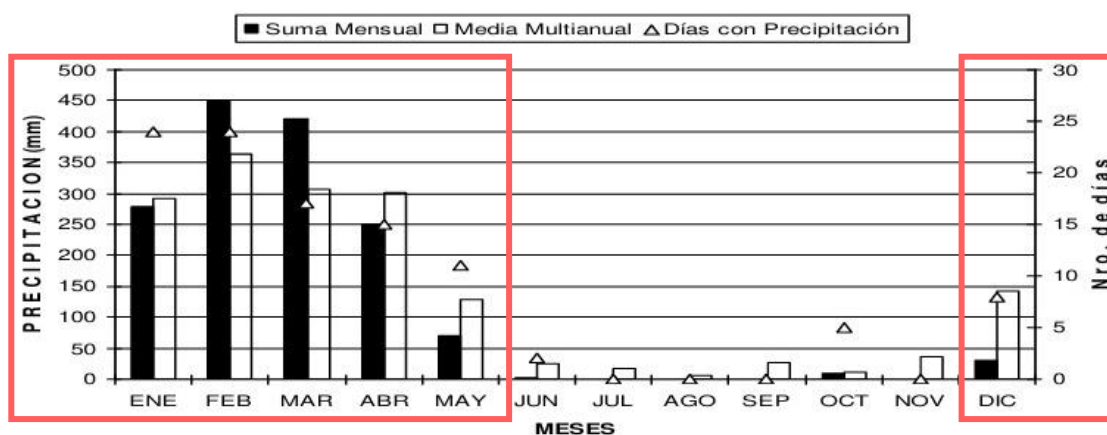


Figura 3.1 Distribución temporal de precipitación acumulada

Fuente: (INAMHI, 2017)

Según el operador de la finca, la campaña de riego no siempre comienza en verano, ya que incluso en invierno se registran períodos prolongados sin lluvia. Por ello, el sistema de bombeo debe estar disponible todo el año, sin importar la estación.

Los trabajos de riego inician durante las horas de la mañana, generalmente desde las 7:00am. Los ciclos de riego de la finca se detallan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8
Ciclos de riego

Ciclo	Bloque 1 [ha]	Bloque 2 [ha]	Alcance	Total, regado [h]
Día 1	1-2-3-4-5	-	1h/ha	5.00
Día 2	-	6-7-8-9-10	1h/ha	5.00
Día 3	-	-		0.00
Día 4	1-2-3-4-5	-	1h/ha	5.00
Día 5	-	6-7-8-9-10	1h/ha	5.00
Día 6	-	-		0.00
Día 7	1-2-3-4-5	-	1h/ha	5.00

Fuente: Autor

Una vez conocida la cantidad de horas que riega la bomba, se estimó la energía que se consumiría por día de riego, se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9
Estimación de consumo de la bomba por día

Datos	Cantidad
Tiempo de operación [h]	5.00
Potencia de bomba [kW]	15.00
Eficiencia de bomba [%]	80.00
Energía consumida [kWh]	93.75

Fuente: Autor

3.1.5. Perfil de Carga

Para esta parte se analizan dos escenarios:

1. Sistema de bombeo de manera independiente
2. Sistema de bombeo más las cargas proyectadas.

Para profundizar en el análisis del perfil de carga, se estimó un consumo energético específico del sistema de bombeo para los meses de invierno, período en el que la bomba no se utiliza o su uso es mínimo.

Se muestra Tabla 3.10 el ciclo de riego y la demanda correspondiente a este período, y precisamente al mes de mayo en la Tabla 3.11. La estimación temporal se basó en datos climatológicos de NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER), utilizando específicamente la curva media de las precipitaciones.

Considerando las necesidades hídricas del cultivo, según el experto de la finca se requiere una lámina de riego de 5mm (equivalente a 1 hora de bombeo), y el patrón de lluvias invernales, se observa que, de enero a abril hay entre 15 y 25 días de lluvia por mes. En mayo hay aproximadamente 11 días de lluvia.

Las precipitaciones registradas durante los últimos 15 años en los meses del temporal invernal se muestran en la Figura 3.2.

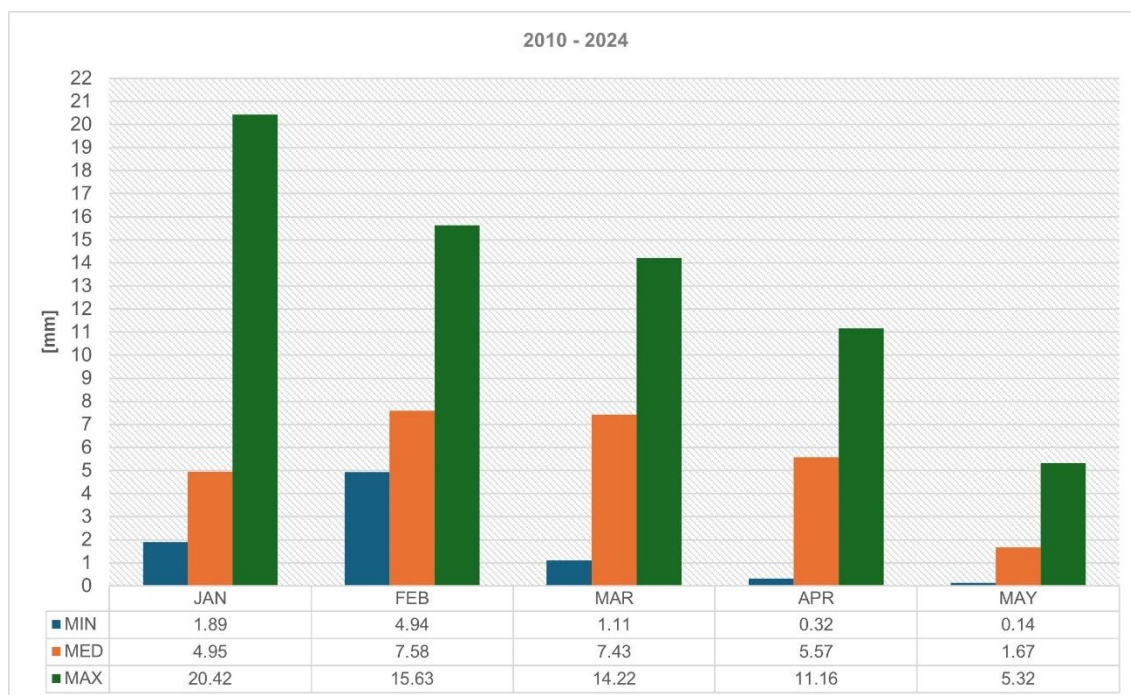


Figura 3.2 Precipitaciones de los meses invernales histórico de 15 años

Fuente: Autor

Tabla 3.10
Ciclo de riego de invierno para mayo

Riego	Bloque 1 [ha]	Bloque 2 [ha]	Tiempo [h]	Total, regado [h]
Día 1	1-2-3-4-5	-	0.75h/ha	3.80
Día 2	-	6-7-8-9-10	0.75h/ha	3.80
Día 3	-	-		0.00
Día 4	1-2-3-4-5	-	0.75h/ha	3.80
Día 5	-	6-7-8-9-10	0.75h/ha	3.80
Día 6	-	-		0.00
Día 7	1-2-3-4-5	-	0.75h/ha	3.80

Fuente: Autor

Tabla 3.11
Estimación de consumo por día de la bomba en el mes de mayo

Datos	Cantidad
Tiempo de uso [h]	3.80
Potencia de bomba [kW]	15.00
Eficiencia de bomba [%]	80.00
Energía consumida [kWh]	71.25

Fuente: Autor

Finalmente se elaboraron los perfiles de carga para el primer escenario: invierno para los meses de enero a abril, uno para el mes de mayo y para verano de los meses de junio a diciembre. Es decir, se considera: el sistema de bombeo, más, la villa del guardia (carga existente), las curvas de demanda se muestran en la Figura 3.3 y Figura 3.4 y Figura 3.5 respectivamente.

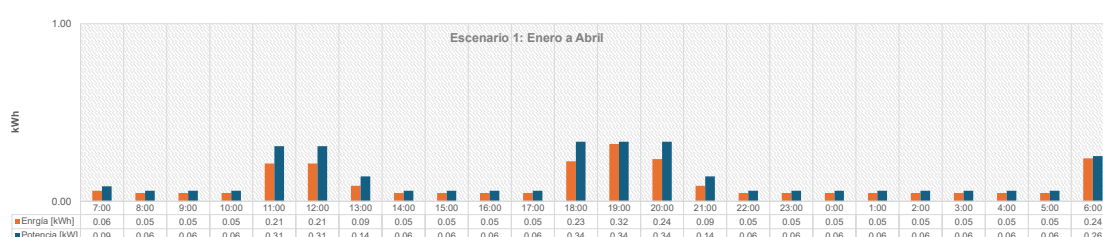


Figura 3.3 Perfil de carga escenario 1, de enero a abril

Fuente: Autor

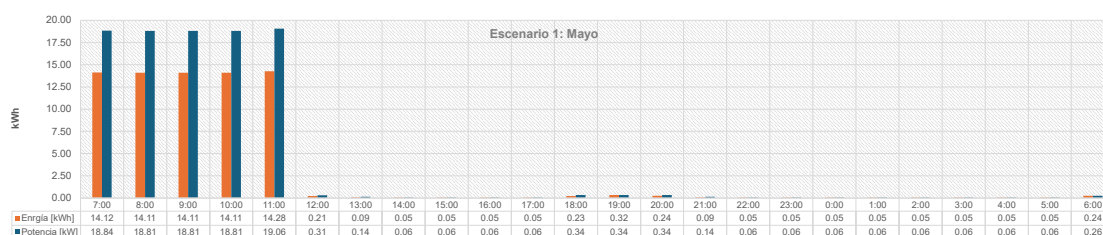


Figura 3.4 Perfil de carga escenario 1, mayo

Fuente: Autor



Figura 3.5 Perfil de carga escenario 1, de junio a diciembre

Fuente: Autor

A continuación, en la Figura 3.6, Figura 3.7 y Figura 3.8 se tienen los perfiles de carga diario del segundo escenario de invierno y verano: el sistema de bombeo, la villa de la guardia, el laboratorio y la secadora eléctrica de cacao.

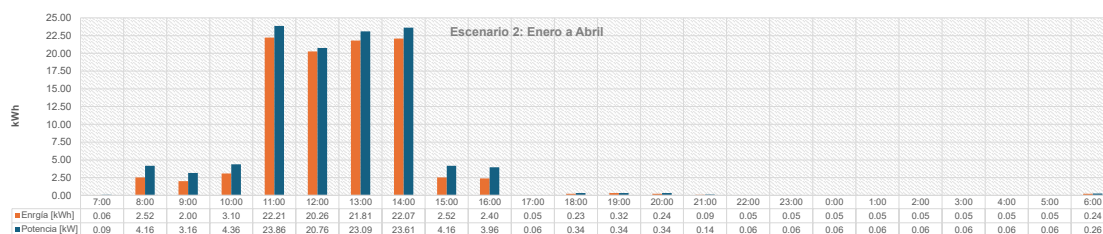


Figura 3.6 Perfil de carga escenario 2, de enero a abril

Fuente: Autor

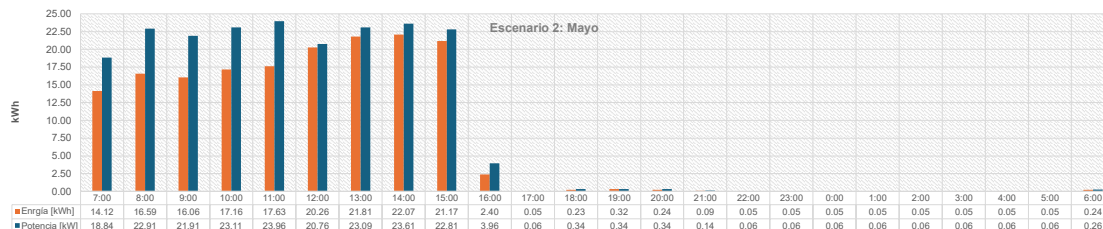


Figura 3.7 Perfil de carga escenario 2, mayo

Fuente: Autor

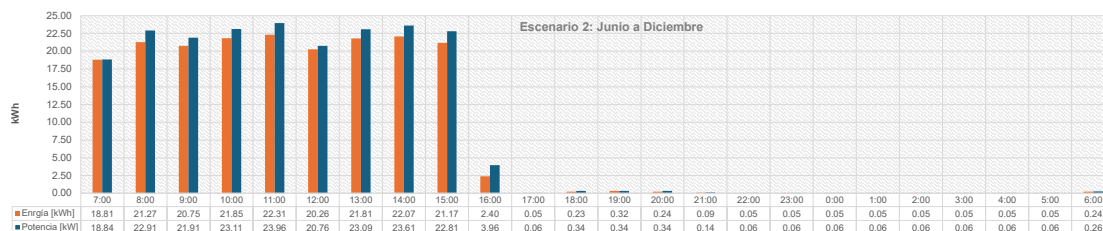


Figura 3.8 Perfil de carga escenario 2, de junio a diciembre

Fuente: Autor

3.2. Análisis de Datos Hidrológicos del Río Vines

3.2.1. Evaluación del Potencial Hidrocinético

1. Caracterización del Régimen Hidroestacional

Para iniciar esta evaluación, como primer acercamiento a los datos críticos, se utilizaron los anuarios hidrológicos (del 2008 al 2013), que registra el INAMHI, los datos se los organizó de manera que se puedan presentar en un mismo plano, las curvas de los máximos, medios y mínimos caudales, se los muestra en la Figura 3.9, y aunque con el histórico se tienen luces ya cuantificables del agua que fluye por el río Vines, es pertinente dejar claro, que el afluente tiene una estrepitosa baja de su caudal en todo el verano, es decir, en estiaje.

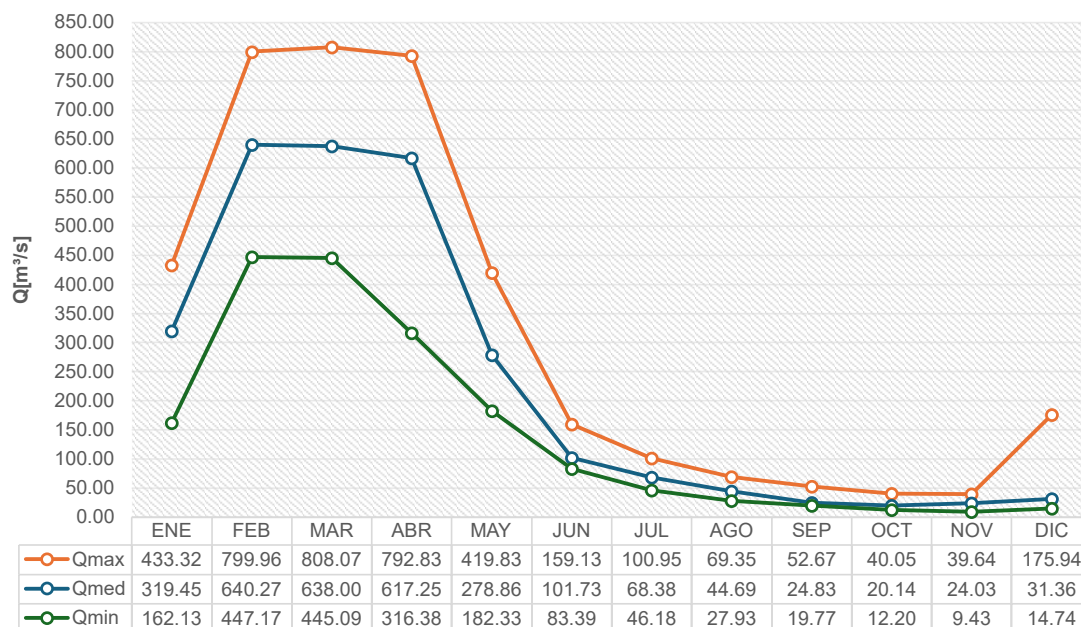


Figura 3.9 Registros de caudales del río Vices 2008 - 2013

Fuente: Autor

Conociendo, ahora, la naturaleza dinámica del río, en invierno se tiene una velocidad máxima por el periodo de crecida, y en verano una velocidad mínima por el estiaje. Se continuó revisando métodos de medición de velocidad, aplicables al río en estudio. Se usó el método del flotador.

Este método es usado cuando es imposible de utilizar instrumentos por las condiciones del sitio o si se desea prescindir de ellos. Según (ISO, 2021) se debe dejar flotar por al menos 20 s el flotador, repetidamente, para lograr obtener un coeficiente de la distancia recorrida, también se recomienda utilizar un coeficiente de corrección de 0.84 y 0.90, dependiendo del perfil de velocidad que se haya dado.

De acuerdo con (Genç, Ardiçlıoğlu, & Ağırlioğlu, 2014) dejar flotar el objeto en un tramo de 10 m es suficiente para tener datos precisos. Para esta investigación se utilizó una pelota de goma vacía en su interior, como flotador y se fijaron dos cotas distanciadas a 10 m.

En la Figura 3.10 se muestra parte del ejercicio de la medición que se hizo en el sitio. En la actividad estuvieron 2 personas alertando la partida y la llegada del objeto, otra persona en una canoa ubicaba el flotador en el centro del río y otra persona haciendo el registro del tiempo. La Tabla 3.12 contiene las mediciones del trabajo que se realizaron en sitio. Sin embargo, esta medición refleja solo una parte de la información necesaria para estimar las velocidades del río en todo el año.



Figura 3.10 Medición de velocidad (V_s) del río

Fuente: Autor

Tabla 3.12
Registro de mediciones en abril 2025 de velocidades en sitio

Test	t [s]	V_s [m/s]
1	6.05	1.65
2	5.62	1.78
3	5.41	1.85
4	5.78	1.73
5	5.23	1.91
6	5.16	1.94
7	5.50	1.82
8	5.43	1.84
9	5.41	1.85
10	5.16	1.94
$V_{0.85} =$		1.65

Fuente: Autor

Se estimaron las secciones del río. Para la profundidad, en base a los datos que se tienen de los residentes de la zona que, con uso de cañas de 10 m en promedio, realizan los trasmallos para alistar la temporada de pesca en verano. En la Figura 3.11 se muestra el bosquejo de lo que sería la geometría transversal del afluente en la zona de interés para la generación. Para el ancho se realizaron entrevistas y uso de la plataforma Google Earth Pro con mediciones satelitales.

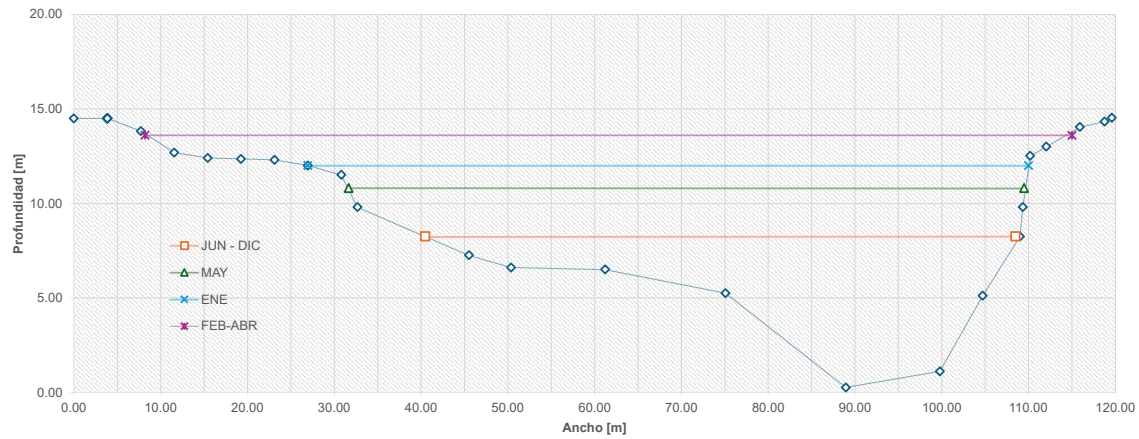


Figura 3.11 Sección transversal típica del río Vines en la zona

Fuente: Autor

Ya con la sección del río, se estimaron las velocidades de todo el año utilizando los caudales medidos por el INAMHI. En cuanto a la velocidad medida en el río, se tiene un acercamiento con la estimada, teóricamente. En la Figura 3.12 se muestran las velocidades máximas, medias y mínimas.

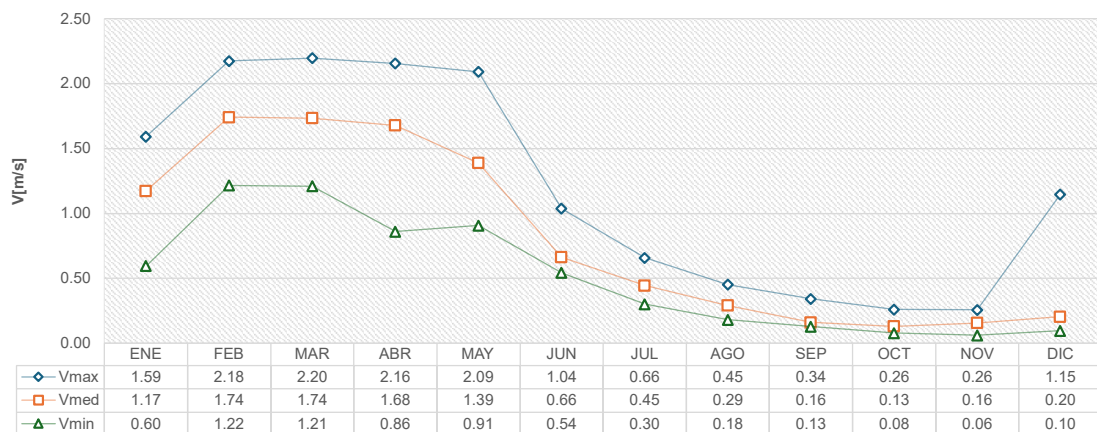


Figura 3.12 Perfil de velocidades del río Vines en la zona

Fuente: Autor

1. Estimación del Recurso Energético

Una vez conocida las velocidades del río, se procedió a estimar la potencia de la conversión energética hidrocínética, conforme a (Reddy, Bhosale, & Saini, 2022) se tiene: $P_{HKT} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p$, con un coeficiente de rendimiento estándar $C_p = 0.35$.

El análisis de cuánta potencia eléctrica teóricamente se podría generar con una (1) turbina se observa en la Figura 3.13, en donde se aprecian los meses de mejor generación y los del temporal de estiaje. El análisis se lo hace con una turbina hidrocínética de eje horizontal con rotor de 1 m de diámetro, considerando las velocidades medias que se estimaron en el punto anterior. El área potencial de generación del río es otra característica importante, mientras más ancha sea el área aprovechable, es decir, la de mayor velocidad (centro del río) aumenta la capacidad de

generación eléctrica del afluente, debido al arreglo de turbinas que se instalan en configuración paralelo (lado a lado), incrementando la potencia eléctrica.

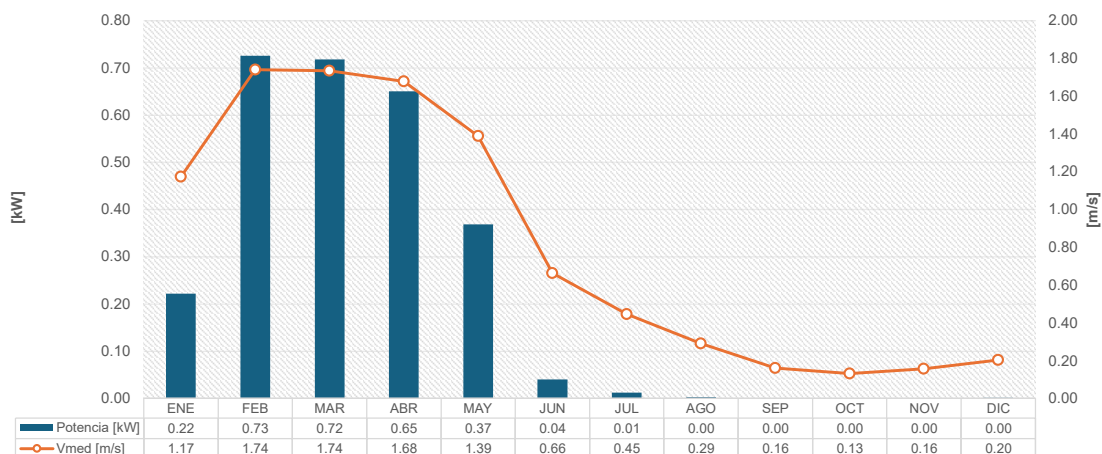


Figura 3.13 Potencia eléctrica teórica generada según la velocidad en el río Vines durante el año

Fuente: Autor

Como resumen se presenta la energía teórica de cada mes del año, considerando una generación por las veinticuatro horas del día, en la Figura 3.14 se muestra el detalle de las proyecciones junto a las de la potencia.

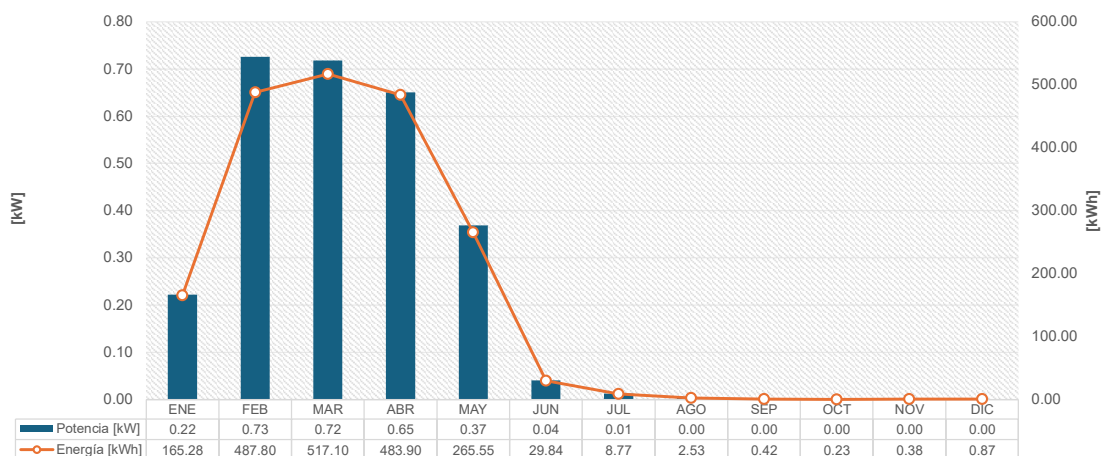


Figura 3.14 Energía teórica proyectada del río Vines durante el año

Fuente: Autor

3.2.2. Selección del Sistema Hidrocinético

Para este estudio se seleccionó la turbina Smart Monofloat 5 kW de Smart Hydro Power. Entre sus características principales tenemos que es de eje horizontal de 3 palas, diámetro de rotor de 1 m, está diseñada para generar electricidad con corrientes de 0.7 – 2.8 m/s y tiene un coeficiente de potencia máximo de $C_p = 0.45$. Su diseño es compacto y el difusor es integrado para acelerar el flujo, cuenta con sistema de flotación constante para estar en el agua por temporadas enteras. La curva de potencia de la turbina respecto a las velocidades que se tienen en el río Vines, se muestra en la Figura 3.15. No se seleccionó turbinas de eje vertical ya que requieren un mayor punto de

velocidad para romper la inercia de la turbina, y debido a las velocidades analizadas del río, no era la turbina adecuada.

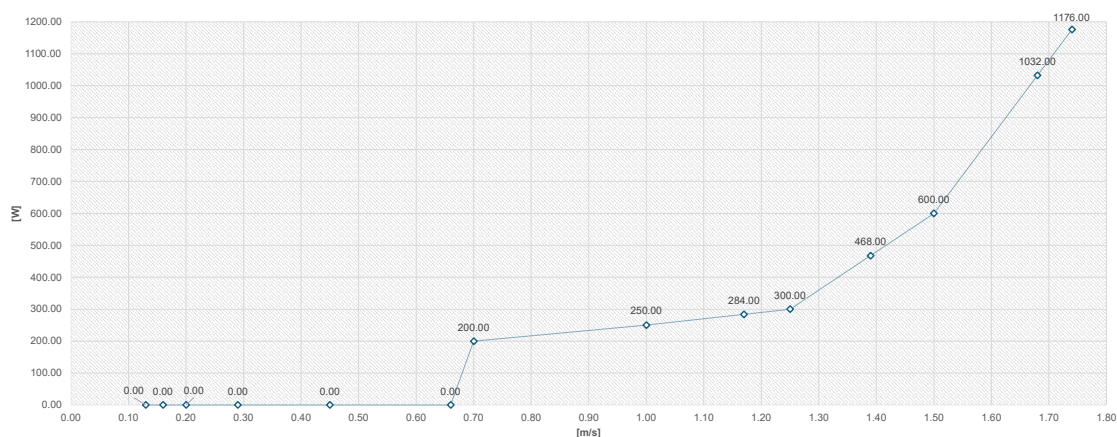


Figura 3.15 Curva de potencia de la turbina Smart Monofloat 5 kW respecto a las velocidades del río Vices

Fuente: Autor

La Figura 3.16 muestra en bloques, la composición de la tecnología hidrocínética estudiada.

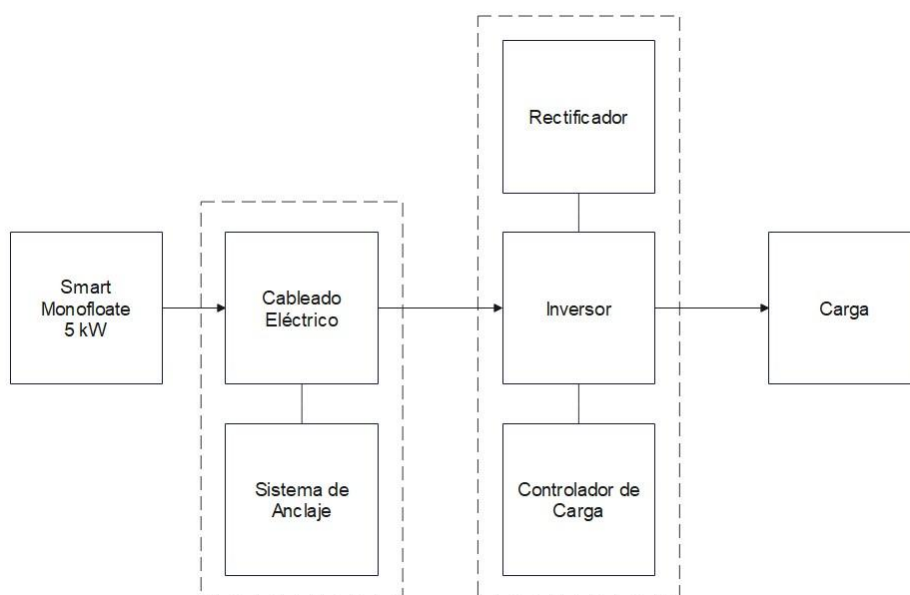


Figura 3.16 Diagrama de bloques del sistema hidrocínético

Fuente: Autor

La turbina como requerimientos mínimos, debe estar en un espacio de 2 m de profundidad, 2 m de ancho y puede estar instalada hasta 500 m de distancia al punto de inyección. La zona de interés del río cumple esos parámetros.

El sistema hidrocínético de Smart Hydro Power es de fácil instalación, esto por su sistema de anclaje a base de cable de acero inoxidable para evitar acumulaciones de limo y hongos. El tiempo de instalación del sistema hasta que ya empieza a operar se estiman en 10 días dependiendo del lugar. Sin embargo, este tema será tratado en secciones posteriores para evaluar costos de inversión.

3.2.3. Evaluación Técnica del Sistema Hidrocinético

El área más aprovechable del río para la implementación de las turbinas es alrededor de 10 m de manera horizontal, es decir, el límite máximo horizontal, para que una turbina pueda aprovechar las velocidades que han sido estimadas previamente. Para el análisis de la generación útil, se usaron las características de la turbina Smart Monofloate 5 kW, conforme a (Smart Hydro Power, 2018) la curva de generación de dicha turbina se computó con el perfil de velocidad del río para estimar la generación durante los doce meses del año, y como resultado, el detalle se puede observar en la Figura 3.17. Para lograr una mayor potencia de generación, de acuerdo con el área aprovechable, en este estudio se configuraron 3 turbinas, en arreglos de “lado a lado” (paralelo), según (Riglin, Daskiran, Jonas, Schleicher, & Oztekin, 2016) las turbinas hidrocinéticas de eje horizontal, para aplicación en ríos, se tienen que distanciar lateralmente en al menos 2.5D, siendo “D” el diámetro del rotor, para que no existan pérdidas en la potencia de salida por factores hidrodinámicos. En la Figura 3.18 se presentan los valores estimados de generación del arreglo de las tres turbinas. Las configuraciones en serie (una detrás de otra) la distancia conforme a los expertos se debe subir a 6D, pero para esas turbinas complementarias, se tienen pérdidas de hasta 82.7%, por lo que se descartó esa topología, tomando en cuenta la baja producción que ya se tiene por las lentas velocidades del río.

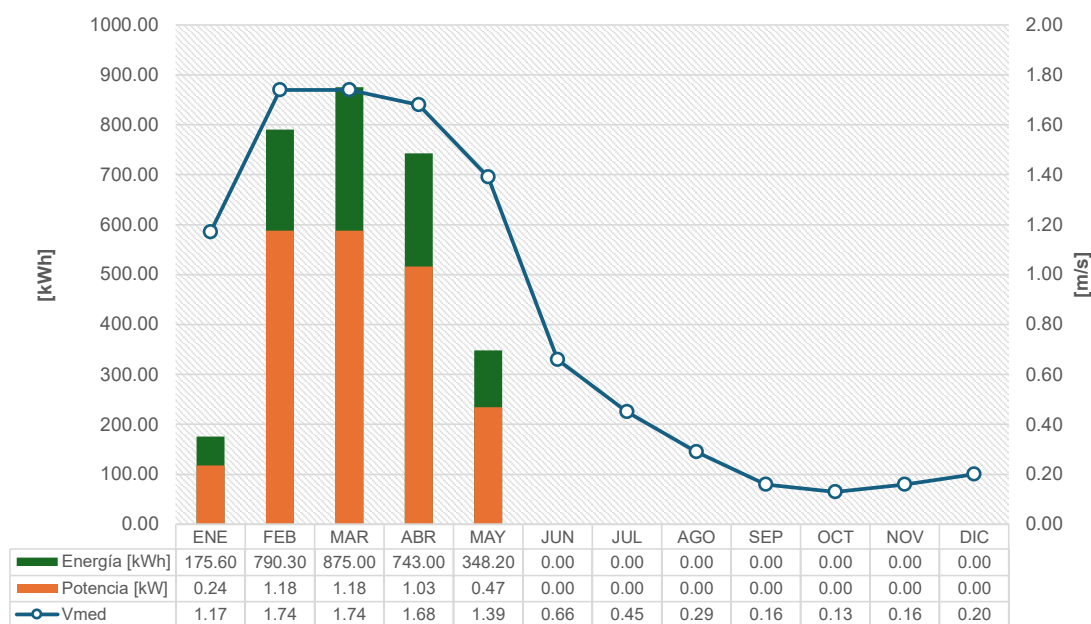


Figura 3.17 Estimación de la generación con Smart Monofloate, configuración aislada

Fuente: Autor

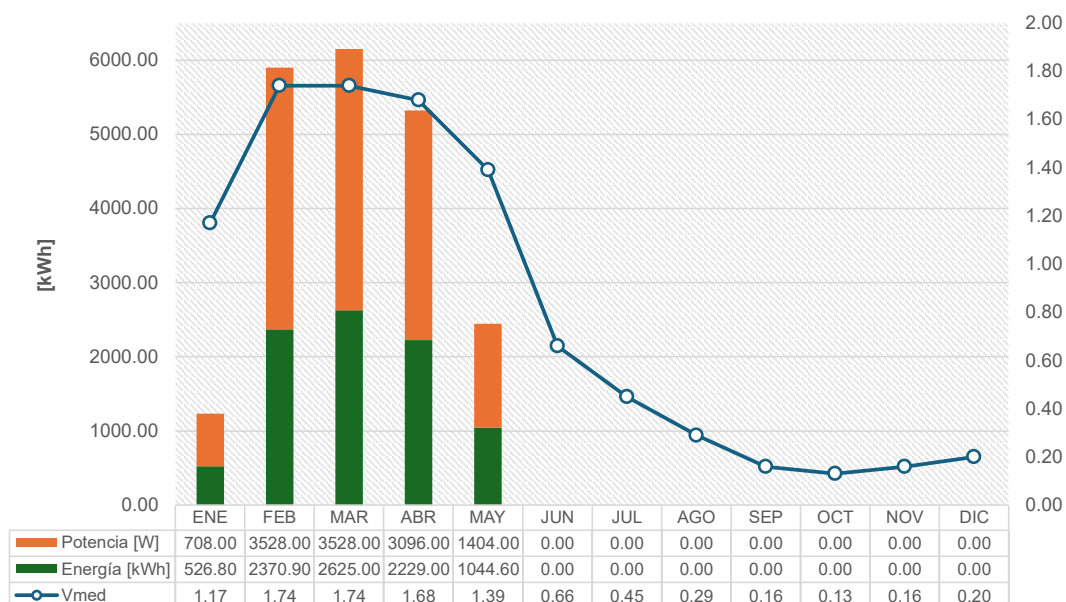


Figura 3.18 Estimación de la generación con 3 Smart Monofloat, configuración paralela

Fuente: Autor

En la siguiente Tabla 3.13 se analizan la potencia y energía generada del arreglo de las turbinas respecto a la demanda de las cargas, en sus dos escenarios tanto en invierno como en verano.

**Tabla 3.13
Evaluación del rendimiento del sistema hidrocínético**

Parámetro	Invierno	Verano	Unidad
Velocidad promedio del río	1.54	0.29	m/s
Potencia Promedio/Turbina	0.54	0.00	kW
Potencia Nominal/Turbina	5.00	5.00	kW
N° turbinas	3.00	3.00	-
Energía generada real	8796.30	0.00	kWh/estación
Energía máxima total	54000.00	75600.00	kWh/estación
Potencia generada real	1.62	0.00	kW/estación
Factor de capacidad (FC)	16%	0%	%

Escenario 1

Energía demandada	1785.00	13629.00	kWh/estación
Carga pico	19.09	19.09	kW
¿Cubre energía?	Sí (8796.30 > 1785)	No (0 < 13629)	-
¿Cubre potencia pico?	No (1.62 < 19.06)	No (0 < 19.09)	-

Escenario 2

Energía demandada	5720.53	19138.74	kWh/estación
Carga pico	23.96	23.96	kW
¿Cubre energía?	Sí (8796.30 > 5720.53)	No (0 < 19138.74)	-
¿Cubre potencia pico?	No (1.62 < 23.96)	No (0 < 23.96)	-

Fuente: Autor

3.3. Análisis de los Datos Solares

Para esta parte del estudio del recurso solar, se analizaron los datos de irradiancia global del área. Se utilizaron los modelos satelitales de NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER), y se optó por la adquisición de datos históricos de 15 años, en periodos de días, por criterios de seguridad energética. En la siguiente Figura 3.19 se muestran los valores históricos mínimos, medios y máximos de la irradiancia, de los años 2010 al 2024.

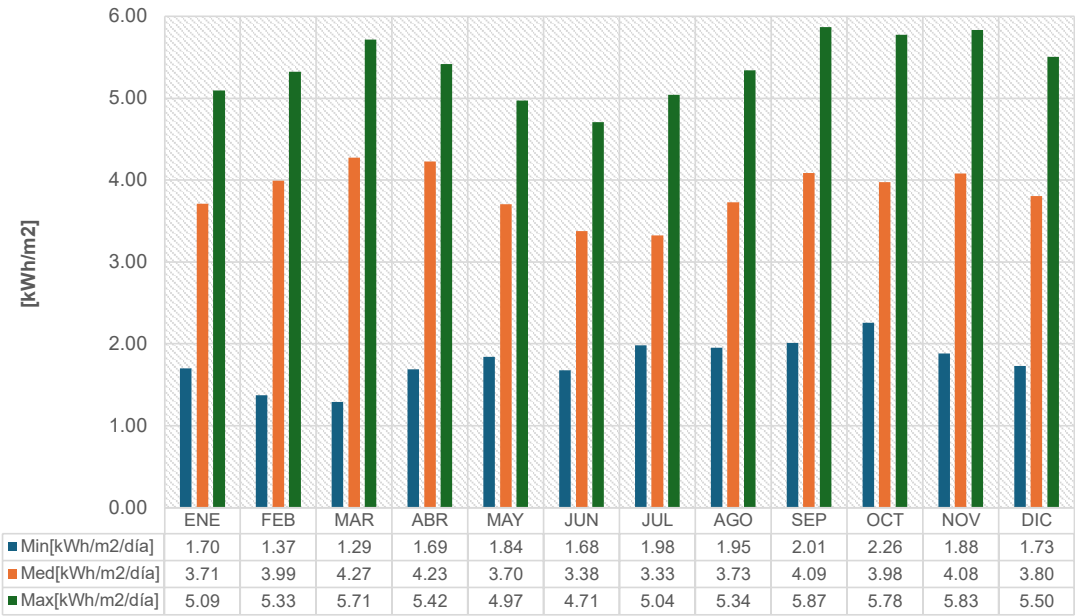


Figura 3.19 Irradiancia mínima, media y máxima histórica del 2010 al 2024 de la zona estudiada

Fuente: Autor

3.3.1. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

De acuerdo con los datos climatológicos analizados previamente, los meses de enero, febrero, marzo y abril, se valoraron como meses lluviosos, mientras que mayo, históricamente presentó pocos días de lluvia, en ese sentido, para esta opción de energía, se considera la época seca a partir de mayo como transición a verano hasta diciembre de 6h00 a 18h00. Es decir, las proyecciones de generación se priorizaron para dichos meses. También se analizaron las temperaturas del lugar, un dato clave para el cálculo del VDC máximo y eventual selección del inversor, la Figura 3.20 muestra el detalle de las temperaturas que se registran en la zona estudiada durante el año.

1. Selección del Módulo Fotovoltaico

La Tabla 3.14 contiene los datos resumidos de todas las cargas que se han estudiado a lo largo de esta investigación, con el propósito de trabajar los datos de las potencias y energías para lograr el dimensionamiento FV iniciando con el número de módulos necesarios de acuerdo con la estación y escenarios planteados. La potencia del módulo seleccionado es de 580 W, de LONGi Solar.

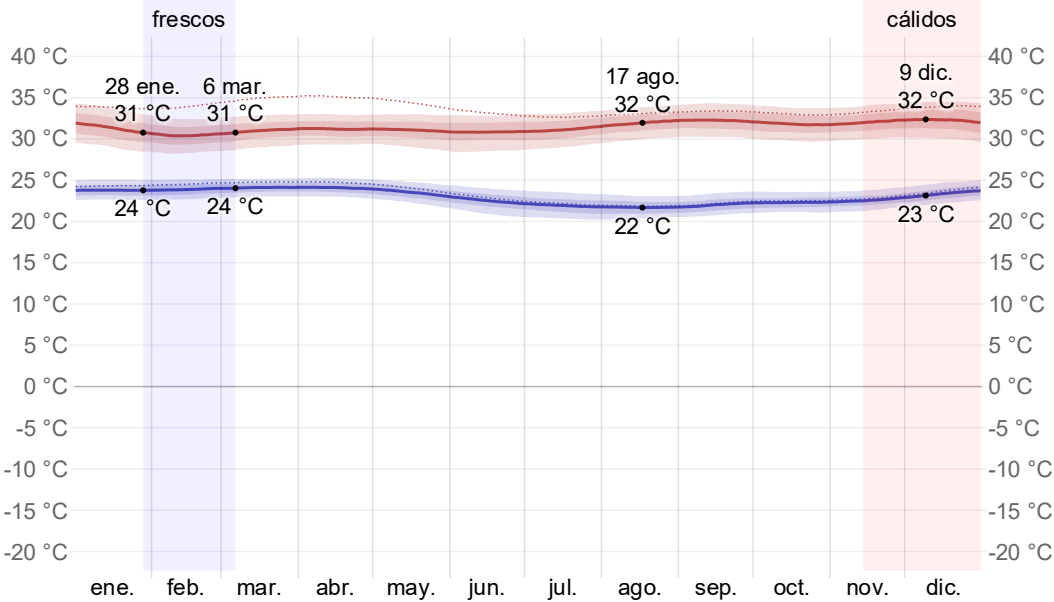


Figura 3.20 Temperaturas de la zona de interés

Fuente: (Weatherspark, 2025)

Tabla 3.14
Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos

Parámetro	Ene-Abr	Mayo	Jun-Dic	Unidades
Villa del guardia	164.70	41.18	288.23	kWh
Sistema de bombeo	0.00	1425.00	13125.00	kWh
Laboratorio	761.60	190.40	1332.80	kWh
Secadora de cacao	2386.82	596.71	4176.94	kWh
Irradiancia	1.85	1.84	1.80	kWh/m²/día
Potencia Nominal/Módulo	0.58	-	-	kWp

<i>Escenario 1</i>				
Energía demandada	164.70	1466.18	13413.23	kWh/periodo
Carga Simultanea Pico	0.34	19.06	19.06	kW/periodo
Energía Dmax diaria	1.37	72.62	95.12	kWh/día
Potencia FV	0.74	39.47	52.84	kW
N.º Módulos	2.00	90.00	122.00	-

<i>Escenario 2</i>				
Energía demandada	3313.12	2253.29	18922.97	kWh/periodo
Carga Simultanea Pico	23.86	23.86	23.96	kW/periodo
Energía Dmax diaria	99.77	114.02	118.92	kWh/día
Potencia FV	53.93	61.97	66.07	kW
N.º Módulos	124.00	142.00	152.00	-

Fuente: Autor

2. Selección del Inversor

La alimentación de la bomba eléctrica en conformidad de (Franklin Electric, 2022) es trifásica 460/380 V, y la secadora de cacao es compatible con ese mismo nivel de tensión, además que ambos equipos cuentan con variadores de velocidad para sus

operaciones, por tal motivo se priorizó, que la tensión de salida del equipo inversor sea para un sistema de 460/380 V trifásico. En el caso de las otras cargas; como la villa del guardia o el laboratorio, que son de niveles de tensión residenciales 220/110 V, se decidió hacer uso de un transformador de baja capacidad para cubrir esas demandas. Para la estimación de la potencia del trafo en cuestión, solo se sumaron las potencias demandadas del laboratorio y de la villa del guardia, siendo la potencia 10 kVA. En la Tabla 3.15 se muestran los criterios para la selección del inversor.

Con los requerimientos identificados del sistema fotovoltaico para el escenario 1 como para el escenario 2 se eligió el inversor Sunny Tripower CORE1, de SMA. De acuerdo con (SMA Solar Technology AG., 2024), el inversor requiere una tensión de entrada inicial, por lo que se dimensionó un banco de baterías a 153.6 VDC 100 Ah LiFePO4 teniendo 15.36 kWh para eventualidades y estabilidad del sistema.

Tabla 3.15
Criterios para la selección del inversor del sistema fotovoltaico

Parámetro	Escenario 1	Escenario 2	Unidades
Sistema FV	Off-Grid		-
Sistema Eléctrico	3F - 4H, 60 Hz		-
Nivel de Tensión	BT: 380 - 460		VAC
Potencia Simultanea	19.06	23.96	kW
Temperatura min de trabajo	22		°C
Factor de corrección Voc	0.69		%/módulo
Pmax de Módulo FV	580.00		Wp
Voc de Módulo FV (22 °C)	52.57		VDC
Isc de Módulo FV	14.20		A
Potencia de Inversor	$\geq 30 \sim 50$		kW
#MPPT	≥ 6		-
#Strings / MPPT	≥ 2		-
Vmppt	> 653.5		VDC
Isc máx / MPPT	> 28.4		A

Fuente: Autor

3. Arreglo Fotovoltaico

Para el escenario 1 la disposición de los paneles se da: 10 strings con 10 módulos (MPPT 1 - 5), más 2 strings con 11 módulos (MPPT 6). Teniendo un total de 12 strings en 6 MPPT independientes y un total de 122 módulos.

Para el escenario 2 se arregló de la siguiente manera: 12 strings con 13 módulos (MPPT 1 - 6). Se aumentaron 4 módulos para balancear la generación. Utilizando un total de 12 strings en 6 MPPT independientes y un total de 156 módulos.

En la Figura 3.21 se muestra el esquema del arreglo del escenario 1 y en la Figura 3.22 la configuración del escenario 2.

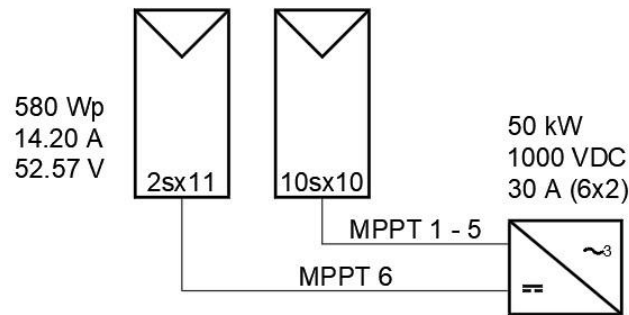


Figura 3.21 Arreglo de módulos fotovoltaicos de escenario 1

Fuente: Autor

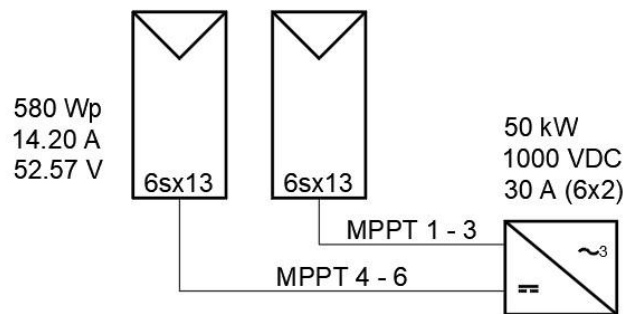


Figura 3.22 Arreglo de módulos fotovoltaicos de escenario 2

Fuente: Autor

3.3.2. Selección de Áreas Potenciales

De acuerdo con (LONGi, 2000) el módulo tiene una dimensión de 2.28 m de largo y 1.14 m de ancho, un área total 2.59 m². Los espacios libres en la finca son priorizados para el aprovechamiento del cultivo, la propiedad cuenta con un galpón de almacenamiento del grano. Se hizo una evaluación de sombra, Figura 3.23 utilizando ShadeMap App, de uso libre, para determinar la orientación de los paneles, por lo que se decidió que los paneles deberán ir ubicados sobre el techado del galpón de almacenamiento de la finca, haciendo uso de accesorios complementarios de sujeción y demás errajes que permitan es espaciado entre las láminas del techo y los módulos, garantizando libre acceso a los conductores que interconectan los módulos.

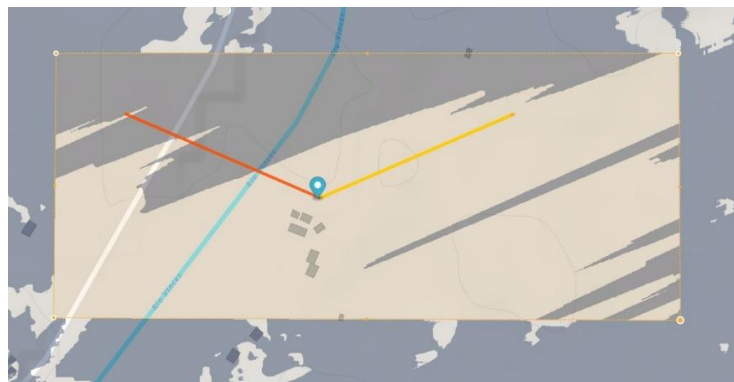


Figura 3.23 Simulación de sombras respecto a la puesta de sol

Fuente: (ShadeMap, 2025)

3.3.3. Evaluación Técnica del Sistema Fotovoltaico

Las siguientes deliberaciones se dan en base de un arduo análisis de los datos climatológicos y de revisión de literatura sobre las condiciones óptimas, moderadas y conservadoras para sistemas fotovoltaicos aislados. Cabe recalcar que más allá de precisiones académicas, el sentido común ayudó en más de una ocasión, permitiendo un mejor entendimiento del cómo trabajar la solución del problema.

Para los dimensionamientos del sistema fotovoltaico analizados previamente, se tomaron los valores mínimos de irradiancia, por ser un sistema aislado con cargas críticas como es la de la bomba de riego. En el escenario 2, que se incluye ya una secadora de cacao, se observó que su carga nominal (kW), es ligeramente de igual dimensión que la de la bomba, si ambas operan al mismo tiempo, se duplica la potencia.

Un paso determinante del dimensionamiento del sistema fue la de conocer el tiempo de uso y si estas cargas tenían que trabajar simultáneamente de manera estricta. Favorablemente las cargas podían operar en distinta hora y día, por lo que el perfil de carga inicial del escenario 2, de acuerdo con los operadores de la finca, se pudo cambiar de manera estratégica, las horas de inicio del riego y el día de uso de la secadora, todo esto sin afectar las labores del campo en la finca.

En la época seca, asumiendo un día de baja irradiancia, simulando la generación para el escenario 1, se estima el uso del banco de baterías en una (1) sola ocasión. El ejercicio se presenta en la Figura 3.24.

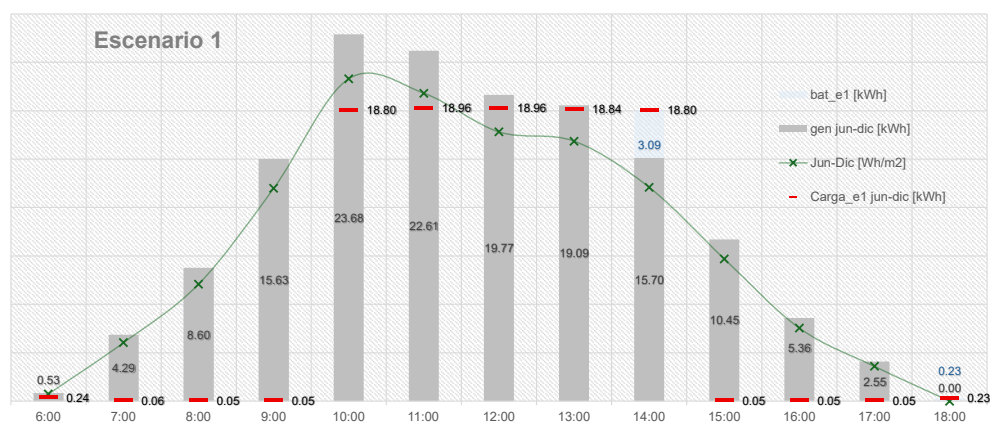


Figura 3.24 Estimación de la generación del sistema fotovoltaico escenario 1, época seca

Fuente: Autor

De igual manera se analizó la misma época seca, para el escenario 2, Figura 3.25. Se observa que también entró el banco de baterías para suplir la demanda de la carga.

El sistema fotovoltaico estudiado cuya carga es menor a 30 kWh, y por la oportuna colocación de operación de las cargas de alto consumo, convierte al sistema en una planta de generación eléctrica capaz de solventar no solo las cargas principales, sino otras que los propietarios de la finca deseen incluir en un futuro, teniendo en cuenta que al sistema se le puede adicionar más módulos, aumentando la capacidad de generación.

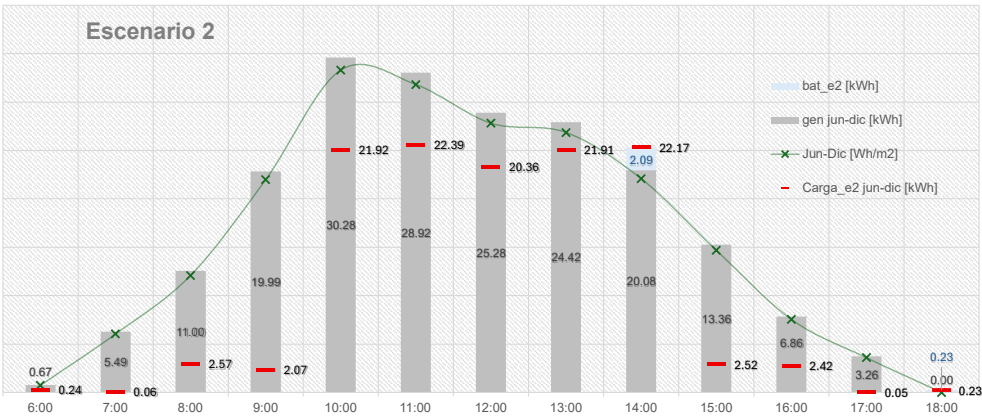


Figura 3.25 Estimación de la generación del sistema fotovoltaico escenario 2, época seca

Fuente: Autor

En la siguiente Tabla 3.16 se analizan la potencia y energía generada del arreglo del sistema fotovoltaico respecto a la demanda de las cargas, en sus dos escenarios. Según (NREL, 2025) el factor de capacidad para proyectos del 2025 y con irradiancias menores a 3.75 kWh/m2/día no deben ser menores del 12 %, por lo que el sistema estudiado supera fácilmente las estimaciones mínimas.

**Tabla 3.16
Evaluación del rendimiento del sistema fotovoltaico**

Parámetro	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Irradiancia mínima del área	1.84	1.84	m/s
Potencia Promedio FV	11.41	15.74	kW
Potencia Máxima FV	61.00	78.00	kWp
N.º módulos	122.00	156.00	-
Energía generada real	53280.82	68129.58	kWh/escenario
Energía máxima total	175680.00	224640.00	kWh/escenario
Pmáx generada real	28.72	36.73	kW/escenario
Factor de capacidad (FC)	0.30	0.30	%
Energía demandada	15044.11	24489.38	kWh/escenario
Carga Simultanea Pico	19.06	23.96	kW/escenario
¿Cubre energía?	Sí (53280.82 > 15044.11)	Sí (68129.58 > 15044.11)	-
¿Cubre potencia pico?	Sí (28.72 > 19.06)	Sí (36.73 > 23.96)	-

Fuente: Autor

3.4. Evaluación Económica

3.4.1. Estimación de Inversión y Costos del kWh

En esta sección se analizan los parámetros CAPEX, OPEX, un tiempo de vida útil de los sistemas de 30 años y se utiliza una tasa de interés del 11.86 %, siendo la tasa más baja del sector financiero ecuatoriano para los proyectos de generación con renovables. La siguiente Tabla 3.17 muestra el detalle de las estimaciones del costo nivelado de energía (LCOE) para los dos sistemas estudiados en esta investigación. Se considera la adición de nuevo banco de baterías por cada 10 años.

Tabla 3.17
Estimación del LCOE de los sistemas en sus dos escenarios

Parámetro	HTK	FV	Unidades
<i>Escenario 1</i>			
CAPEX			
Equipos	\$42,120.00	\$23,181.14	USD
Conexión y Transmisión	\$421.20	\$674.20	USD
Accesorios de Anclaje y Montaje	\$758.16	\$1,439.60	USD
Instalación	\$2,106.00	\$1,159.06	USD
Total CAPEX E1	\$45,405.36	\$26,454.00	USD
OPEX			
Mantenimiento	\$900.00	\$1,036.80	USD
Operación	\$1,152.00	\$1,152.00	USD
Total OPEX E1	\$2,052.00	\$2,188.80	USD
LCOE			
Energía generada E(t); E1	8796.30	53280.82	kWh/año
LCOE; r(t) = 11.86 %, n(t) = 30 años	\$0.887	\$0.109	USD/kWh
<i>Escenario 2</i>			
CAPEX			
Equipos	\$42,120.00	\$26,229.14	USD
Conexión y Transmisión	\$421.20	\$804.54	USD
Accesorios de Anclaje y Montaje	\$758.16	\$1,840.80	USD
Instalación	\$2,106.00	\$1,311.46	USD
Total CAPEX E2	\$45,405.36	\$30,185.94	USD
OPEX			
Mantenimiento	\$900.00	\$1,405.44	USD
Operación	\$1,152.00	\$1,152.00	USD
Total OPEX E2	\$2,052.00	\$2,557.44	USD
LCOE			
Energía generada E(t); E2	8796.30	68129.58	kWh/año
LCOE; r(t) = 11.86 %, n(t) = 30 años	\$0.887	\$0.098	USD/kWh

Fuente: Autor

3.4.2. Estimaciones Financieras

Los objetivos y alcance de este trabajo no consideran la venta de los excedentes de la energía que se pudieran tener, sino, solo para la actividad agroindustrial de la finca. Sin embargo, se analiza el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) de los sistemas y el ROI como complemento de los dos indicadores. En una primera parte, el escenario 1 es analizado en la siguiente Tabla 3.18.

Tabla 3.18
Estimación del VAN, TIR y ROI de los sistemas, escenario 1

Parámetro	HTK	FV	Unidades
<i>Escenario 1</i>			
Energía demandada	15044.11	15044.11	kWh/año
Energía generada	8796.30	53280.82	kWh/año
Energía excedente	-6247.81	38236.71	kWh/año
VAN & TIR			
Costo inicial; I(t)+M(t)	\$47,457.36	\$28,642.80	USD
VAN; r(t) = 11.86 %, n(t) = 30 años	-\$52,137.74	\$1.23	USD
TIR; \$0.0908/kWh	0%	12%	-
ROI (Si se vende excedentes)			
Precio de compra a red	\$0.1164		USD/kWh
Precio de venta excedentes	\$0.0908		USD/kWh
LCOE	\$0.8872	\$0.1091	USD/kWh
Costo evitado	\$1,751.13	\$1,751.13	USD/kWh
Ahorro por autoconsumo	-\$11,596.25	\$110.01	USD/año
Ingreso por venta de excedentes	\$0.00	\$3,471.89	USD/año
Total ingreso bruto	-\$9,845.12	\$5,333.04	USD/año
Total beneficio bruto	-\$11,897.12	\$3,144.24	USD/año
ROI; n(t) = 30 años	-852%	229%	-
Periodo de Recuperación	0.0	9.1	Años
ROI (Solo para autoconsumo)			
Precio de compra a red	\$0.1164		USD/kWh
LCOE	\$0.8872	\$0.0980	USD/kWh
Costo evitado	\$1,023.89	\$6,201.89	USD/kWh
Ahorro por autoconsumo	-\$6,780.34	\$979.40	USD/año
Total ingreso bruto	-\$5,755.56	\$7,181.38	USD/año
Total beneficio bruto	-\$7,807.56	\$4,992.58	USD/año
ROI; n(t) = 30 años	-594%	423%	-
Periodo de Recuperación	0.0	5.7	Años

Fuente: Autor

Como se pudo observar, el sistema fotovoltaico logra tener índices positivos en el VAN y en TIR, aun siendo un diseño para una zona de poca irradiancia. Si la red eléctrica llegara alguna vez al sector, este análisis ayuda a los propietarios a decidir si venden sus excedentes de energía o a expandir su complejo agroindustrial para aprovechar esa energía.

Para el escenario 2, que se analiza en la Tabla 3.19 se tienen interesantes resultados, como el VAN negativo, debido al límite de 30 años estimados, ya que para el año 31 el VAN es irreversiblemente positivo. El TIR sigue siendo ligeramente positivo.

Tabla 3.19
Estimación del VAN, TIR y ROI de los sistemas, escenario 2

Parámetro	HTK	FV	Unidades
Escenario 2			
Energía demandada	24489.38	24489.38	kWh/año
Energía generada	8796.30	68129.58	kWh/año
Energía excedente	-15693.08	43640.20	kWh/año
VAN & TIR			
Costo inicial; I(t)+M(t)	\$47,457.36	\$32,743.38	USD
VAN; r(t) = 11.86 %, n(t) = 30 años	-\$50,705.17	-\$51.47	USD
TIR; \$0.0908/kWh	0%	12%	-
ROI (Si se vende excedentes)			
Precio de compra a red	\$0.1164		USD/kWh
Precio de venta excedentes	\$0.0908		USD/kWh
LCOE	\$0.8872	\$0.0980	USD/kWh
Costo evitado	\$2,850.56	\$2,850.56	USD/kWh
Ahorro por autoconsumo	-\$18,876.83	\$450.16	USD/año
Ingreso por venta de excedentes	\$0.00	\$3,962.53	USD/año
Total ingreso bruto	-\$16,026.26	\$7,263.25	USD/año
Total beneficio bruto	-\$18,078.26	\$4,705.81	USD/año
ROI; n(t) = 30 años	-1243%	331%	USD/kWh
Periodo de Recuperación	0.0	7.0	Años
ROI (Solo para autoconsumo)			
Precio de compra a red	\$0.1164		USD/kWh
LCOE	\$0.8872	\$0.0980	USD/kWh
Costo evitado	\$1,023.89	\$7,930.28	
Ahorro por autoconsumo	-\$6,780.34	\$1,252.34	USD/año
Total ingreso bruto	-\$5,755.56	\$9,182.72	USD/año
Total beneficio bruto	-\$7,807.56	\$6,625.28	USD/año
ROI; n(t) = 30 años	-594%	507%	-
Periodo de Recuperación	0.0	4.9	Años

Fuente: Autor

Como una última parte de esta sección de análisis financiera, en la Tabla 3.20 se realizan dos evaluaciones, una para el riego actual de motobomba a diesel y otro para la red eléctrica convencional, versus el sistema fotovoltaico del escenario 2, de solo autoconsumo.

Tabla 3.20
Estimación del ROI de los sistemas a diesel y red eléctrica

Parámetros	Diesel	Red	FV	Unidades
Costo inicial; I(t)+M(t)	\$6,800.00	\$42,988.52	-	USD
OPEX	\$3,175.28	\$2,967.56	-	USD/año
Costo evitado	\$0.00	\$207.72	-	USD/año
Total ingreso bruto	\$0.00	\$0.00	-	USD/año
Total beneficio bruto	-\$3,175.28	-\$2,759.85	-	USD/año
ROI; n(t) = 30 años	-1700.86%	-292.60%	507%	-

Fuente: Autor

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. El umbral mínimo de velocidades en las turbinas hidrocínéticas actuales, aún sigue siendo muy alto para que puedan generar electricidad en ríos de llanura de la costa central del Ecuador. Aunque el río estudiado pudo alcanzar velocidades de hasta 1.8 m/s en épocas lluviosas, son inviables técnicamente y la necesidad de sobredimensionarlas para obtener mayores potencias, hacen también económicamente inviable su implementación.
2. El sistema fotovoltaico es técnica y económicamente viable para alimentar todas las cargas analizadas en esta investigación. Con un FC de 0.30 muy por arriba del 0.16 estimados en las turbinas. El sistema fotovoltaico presentó un CAPEX bajo, respecto al costo inicial de la tecnología hidrocínética. A pesar de que es un sistema aislado, el banco de baterías fue indispensable para asegurar la continuidad del servicio.
3. La evaluación económica de las dos tecnologías evidenció que la energía solar es la mejor opción para los propietarios en implementar, con un ROI positivo de 507%, versus un -594% de la hidrocínética.

4.2. Recomendaciones

1. Para los sistemas de riego, pensados en la zona rural de Vinces, se deberán tomar los valores mínimos de irradiancia, datos diarios, de al menos 10 años, también analizar las precipitaciones y entrevistar los operadores y expertos agrónomos para entender la campaña de riego.
2. El sistema hidrocínético no es una tecnología viable para implementar en estas zonas, por lo que se debe descartar rotundamente. Una alternativa que no se investigó en este estudio, es la utilidad de los residuos agroindustriales que se tienen en el proceso postcosecha del cacao, analizar si pudiesen tener potencial para la producción de pellets y posterior venta.
3. Para proyectos aislados no sobredimensionar los inversores si no se va a vender la energía excedente, eso evitará elevar los costos de inversión. A menos que se proyecten más cargas a futuro, se requerirán más MPPT's para strings. Para los dimensionamientos de la generación fotovoltaica, paralelamente simular la generación usando los perfiles de carga y la irradiación estimada de la época.

BIBLIOGRAFÍA

- Balcazar. (2020). *Análisis comparativo de tres sistemas de riego en el cultivo de cacao*. Milagro: Universidad Agraria del Ecuador.
- CNEL EP. (25 de Mayo de 2025). *Geoportal*. Obtenido de <https://geoportal.cnelep.gob.ec>
- Emblemsvåg, J. (2025). Rethinking the “Levelized Cost of Energy”: A critical review and evaluation of the concept. *Elsevier*, 3-4.
- FAO. (2018). *FAO*. Obtenido de Estimaciones del caudal de agua: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- Franklin Electric. (2022). *Bombas Sumergibles de Acero Inoxidable 6”*. Wayne: Franklin Electric.
- Genç, O., Ardiçlioğlu, M., & Ağırlioğlu, N. (2014). Calculation of mean velocity and discharge using water. *ELSEVIER*, 4-5.
- Guinard Energies. (2021). *Hydrokinetic Turbine P66*. Francia: Guinard Energies.
- Iliev, Todorov, Kamberov, & Zlatev. (2025). Evaluation of the Performance of Optimized Horizontal-Axis. *Water*, 1-8.
- INAMHI. (2017). *Anuario Meteorológico*. Quito: INAMHI.
- INEC. (2024). *Información ambiental y tecnificación agropecuaria - Módulo métodos de producción y ambiente*. Quito: INEC.
- Irena, & I.R.E.A. (2012). Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, in: International. *IRENA Innovation and Technology Centre*, (pág. 4(5)). Abu Dhabi.
- ISO. (Noviembre de 2021). Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements. *ISO 748:2021*. Ginebra, Suiza: ISO.
- LONGi. (2000). *LR5 72HTH*. Shaanxi: LONGi Green Energy Technology Co.
- MAGAP. (2 de Diciembre de 2024). *Expertos destacan estrategias implementadas en Ecuador, para aumentar producción de cacao*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/expertos-destacan-estrategias-implementadas-en-ecuador-para-aumentar-produccion-de-cacao/>
- NASA POWER. (2025). *NASA POWER*. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NREL. (2025, febrero 26). *Annual Technology Baseline*. Retrieved from National Renewable Energy Laboratory (NREL): https://atb.nrel.gov/electricity/2024/commercial_pv
- OLADE. (2009). *La Electrificación en Ecuador*. Quito: OLADE.
- Paniagua-García et al. (2024). Hydrokinetic resource assessment in Colombia’s Non-Interconnected Zones. *Elsevier*, 3-8.
- PEM. (2024). *Estudio de la Demanda Eléctrica*. Quito: Ministerio de Energía y Minas.

- Pytes Energy. (2022). *Pytes*. Retrieved from https://www.solar-electric.com/lib/wind-sun/pytes_48100r_usermanual.pdf
- Reddy, K. B., Bhosale, A. C., & Saini, R. P. (2022). Performance parameters of lift-based vertical axis hydrokinetic turbines -. *ELSEVIER*, 2.
- Riglin, J., Daskiran, C., Jonas, J., Schleicher, W., & Oztekin, A. (2016). Hydrokinetic turbine array characteristics for river applications and spatially restricted flows. *Science Direct*, 274-279.
- ShadeMap. (2025). *ShadeMap*. Retrieved from <https://shademap.app/>
- SIPA. (19 de Febrero de 2025). *Caracterizació de la Producció*. Obtenido de SIPA: <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2024-cp>
- SMA Solar Technology AG. (2024, Junio). *SMA Solar Technology AG*. Retrieved from SMA Solar Technology AG: <https://www.sma-america.com/products/solarinverters/sunny-tripower-core1#c25697>
- Smart Hydro Power. (2018). *Smart Monofloat 5kW*. Feldafing, Alemania: Smart Hydro Power.
- Solano, T. D., & Vintimilla, N. C. (2013). *Estudio fluviomorfológico del Río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto pacalori aplicando Hecgeoras*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Turner, Ghimire, Hansen, Singh, & Kao. (2023). Hydropower capacity factors trending down. *Nature Communications*, 11-12.
- Valrhona. (1 de Diciembre de 2023). *La trazabilidad del cacao: deforestación y huella de carbono*. Obtenido de <https://www.valrhona.com/es/noticias/nuestras-noticias/la-trazabilidad-del-cacao-deforestacion-y-huella-de-carbono>
- Weatherspark. (2025, Mayo 24). Retrieved from Weatherspark: <https://weatherspark.com/y/19351/Average-Weather-in-Vinces-Ecuador-Year-Round#Sections-Clouds>
- WILPAC. (20 de Mayo de 2025). *WILPAC*. Obtenido de WILPAC: <https://induwilpac.com/>

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA TÉCNICA DEL MOTOR DE LA BOMBA DE RIEGO A ALIMENTAR

Motores Estándar Sumergibles de 6"

Modelos de 6 Pulgadas

HP (KW)	CONSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN							MODELO	EXIS- TENCIAS
		PH	VOLTS	HZ	SENSOR DE CALOR SUB- TROL	S.F.	# DE LINEAS	TAMAÑO DEL CABLE (AWG)		
20 hp 15 kW	POZO DE AGUA	3	200-208	60	No Disponible	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 654 90	Sí
		3	220	60	No Disponible	1.00	3	#8 c/TIERRA	236 684 90	
		3	220	60	No Disponible	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 674 90	
		3	230	60	No Disponible	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 604 90	Sí
		3	230	60	No Disponible	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 724 90	
		3	380	60	No Disponible	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 664 90	Sí
		3	380	60	No Disponible	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 784 90	
		3	415	60	No Disponible	1.00	3	#10 c/TIERRA	236 694 90	
		3	460/380-415	60/50	No Disponible	1.15/1.00	3	#10 c/TIERRA	236 614 90	Sí
		3	460/380-415	60/50	No Disponible	1.15/1.00	6-90°	#10 c/TIERRA	236 714 90	Sí
		3	575	60	No Disponible	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 624 90	
	SAND FIGHTER	3	200-208	60	Sí	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 654 81	Sí
		3	220	60	Sí	1.00	3	#8 c/TIERRA	236 684 81	
		3	220	60	Sí	1.00	6-90°	#10 c/TIERRA	236 674 81	
		3	230	60	Sí	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 604 81	Sí
		3	230	60	Sí	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 724 81	Sí
		3	380	60	Sí	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 664 81	
		3	380	60	Sí	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 784 81	
		3	415	60	Sí	1.00	3	#10 c/TIERRA	236 694 81	
		3	460/380-415	60/50	Sí	1.15/1.00	3	#10 c/TIERRA	236 614 81	Sí
		3	460/380-415	60/50	Sí	1.15/1.00	6-90°	#10 c/TIERRA	236 714 81	
		3	575	60	Sí	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 624 81	Sí
	ACERO INOXIDABLE 316	3	200-208	60	Sí	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 654 40	
		3	220	60	Sí	1.00	3	#8 c/TIERRA	236 684 40	
		3	220	60	Sí	1.00	6-90°	#10 c/TIERRA	236 674 40	
		3	230	60	Sí	1.15	3	#8 c/TIERRA	236 604 40	Sí
		3	230	60	Sí	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 724 40	
		3	380	60	Sí	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 664 40	
		3	380	60	Sí	1.15	6-90°	#10 c/TIERRA	236 784 40	
		3	415	60	Sí	1.00	3	#10 c/TIERRA	236 694 40	
		3	460/380-415	60/50	Sí	1.15/1.00	3	#10 c/TIERRA	236 614 40	Sí
		3	460/380-415	60/50	Sí	1.15/1.00	6-90°	#10 c/TIERRA	236 714 40	
		3	575	60	Sí	1.15	3	#10 c/TIERRA	236 624 40	

Fuente: (Franklin Electric, 2022)

ANEXO 2

FICHA TÉCNICA DE LA TURBINA HIDROKINÉTICA SELECCIONADA



SMART MONOFLOAT TURBINE



SMART MONOFLOAT

This turbine is designed for rivers, featuring a reinforced debris protection and a patented anchoring system. The anchoring can be done at the bottom of the river, at a bridge support, or at a block on the side of a river.

This turbine is ready to overcome:

- variable water depth and velocity
- floating debris of various materials and sizes



Base load power supply



Easy installation



Minimal space required



Low infrastructure costs (no dams)



No environmental impact

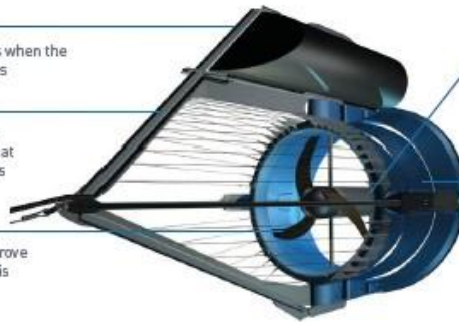


Minimal audible disturbance

One diving float
submerges to avoid debris when the water flow speed increases

Debris protection
stainless steel cables are carefully designed such that debris neither accumulates nor damages the blades

Rotor
slightly curved blades improve performance against debris



5 kW underwater generator
permanent-magnet generator provides three-phase AC power

Diffuser
protects the generator and increases water velocity when passing through it

Output	250 – 5000 W
Dimensions	Length: 3130 mm Width: 1600 mm Height: 2010 mm
Rotational speed	90 – 230 rpm
Weight	380 kg
Number of rotor blades	3
Rotor ϕ	1000 mm

Specifications:

- The permanent magnet underwater generator provides AC power
- Dives when water level rises
- Especially suitable for waters with heavy debris
- Expandable system with multiple turbines
- Available as an off-grid solution, grid-connected and hybrid version
- Scope of delivery and specifications can be adapted to special projects
- Max. power output at 2.8 m/s

Anchorage dependent on:

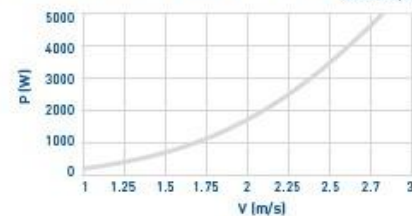
- Hydrological characteristics (e.g. riverbed type: rock, sand, etc.)
- Ship traffic/kayak/tourism
- Amount/type of flotsam/debris
- Width and depth variation of river

Requirements:

- Min. river depth: 2.0 m
- Min. river width: 2.0 m
- Injection point: max. 500 meters distance from turbine

Output curve of the generator

Max. power output at 2.8 m/s



Power curve tested at towing tank of SVA Potsdam. Results may vary in natural rivers & canals. Curve was measured at the generator output.

Fuente: (Smart Hydro Power, 2018)

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR

Hi-MO 6

LR5-72HTH 560~580M

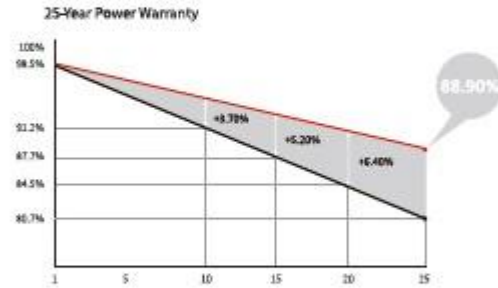
22.5%
MAX MODULE
EFFICIENCY

0~3%
POWER
TOLERANCE

<1.5%
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION

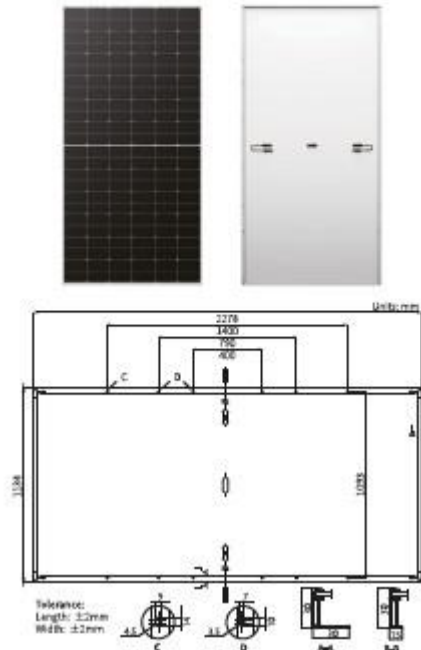
0.40%
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	27.2kg
Dimension	2278×1134×30mm
Packaging	36pcs per pallet / 180pcs per 20' GP / 720pcs per 40' HC



Electrical Characteristics

	STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C		NOCT: AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s		Test uncertainty for P _{max} ±0.4%	
Module Type	LR5-72HTH-560M	LR5-72HTH-565M	LR5-72HTH-570M	LR5-72HTH-575M	LR5-72HTH-580M	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	560	418	565	422	570	426
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	51.61	48.46	51.76	48.60	51.91	48.74
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	13.94	11.26	14.01	11.31	14.07	11.36
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	43.46	39.66	43.61	39.79	43.76	39.93
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	12.89	10.55	12.96	10.61	13.03	10.67
Module Efficiency(%)	21.7		21.8		22.1	

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.230%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.290%/°C

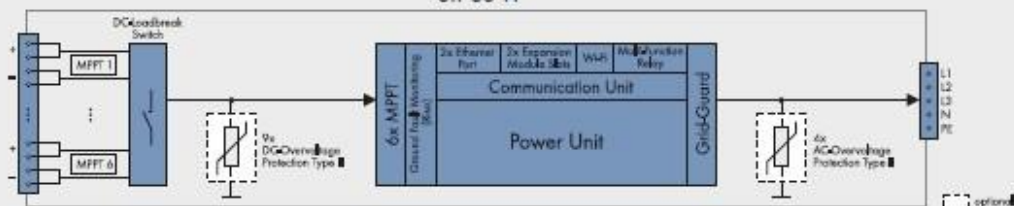
LONGi

No.8369 Shangyuan Road, Xi'an Economic And
Technological Development Zone, Xi'an, Shaanxi, China.
Web: www.longi.com

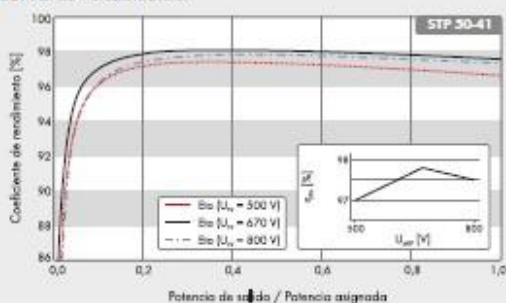
Specifications included in this datasheet are
subject to change without notice. LONGi
reserves the right of final interpretation.
0223518PreliminaryV01.0 DG V2

Fuente: (LONGi, 2000)

FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR



* Equipamiento de serie ○ Opcional – No disponible ▲ Según la disponibilidad Datos en condiciones nominales. Versión: 01/2022



AC_SPD_KIT2
DC_SPD_KIT5

SMA-Solar.com

SMA Solar Technology AG

Fuente: (SMA Solar Technology AG., 2024)

ANEXO 5

FICHA TÉCNICA DE BATERIA DEL BANCO PARA EL SISTEMA FV

1 Specifications

Table 1-1 Battery Pack Specifications

Battery Model	ESS48-2U-L	E-BOX 4850G	E-BOX 48100R
Chemistry	LFP		
Nominal Voltage	48V		51.2V
Voltage Range	45V-54V		47.5V-57.6V
Nominal Capacity	50Ah		100Ah
Nominal Energy	2.4kWh		5.12kWh
Unit Dimension(L*W*H)	440*410*89mm(2U) 17.3*16.1*3.5 inch	440*450*80mm(2U) 17.3*17.7*3.2 inch	440*620*117mm(2.6U) 17.3*24.4*4.6 inch
Unit Weight	25kg/55.1 lbs	23.5kg/51.8 lbs	51kg/112.5 lbs
Standard Charge/ Discharge Current	25A		50A
Maximum Charge/ Discharge Current	50A		100A
Peak Current	102A@15s		
Round-Trip Efficiency	≥95%		
Communication Protocol	RS232, RS485, CAN		
Cycle Life	≥6000cycles@0.5C/0.5C@ 25°C(77°F)		
Calendar Life	≥10years		
Operating Temperature	Charge: 0°C~ 45°C(32~113°F), Discharge: -10°C~ 50°C(14~122°F)		
Certificates	IEC62619/UN38.3/ KC/CE	IEC62619/UN38.3/CE	UL1973/IEC62619/CE UN38.3/UL9540A/UL9540
Storage Temperature	Within 1month: -10~40°C(14~104°F) 1-3months: -10~35°C(14~95°F) 3-12months: 0~30°C(32~86°F)		

Fuente: (Pytes Energy, 2022)

ANEXO 6

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV, E1: ENERO – ABRIL

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	0.06	0.06	0.06	0.31	0.31	0.14	0.06	0.06	0.06	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	0.05	0.05	0.05	0.21	0.21	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 7

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV, E1: MAYO

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	0.06	18.81	18.81	19.06	19.06	18.89	0.06	0.06	0.06	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	0.05	14.30	14.30	14.46	14.46	14.34	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 8

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV, E1: JUNIO – DICIEMBRE

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	0.06	0.06	18.81	19.06	19.06	18.89	18.81	0.06	0.06	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	0.05	0.05	18.80	18.96	18.96	18.84	18.80	0.05	0.05	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 9

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV E2: ENERO – ABRIL

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Laboratorio</i>														
Espectrofotómetro portátil (UV-Vis)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Analizador de humedad compacto	300.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
pH-metro/conductímetro digital	200.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Estufa de secado compacta (50°C)	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Incubadora pequeña (fermentación)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Balanza analítica de precisión	100.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Mini-split inverter (12,000 BTU)	1000.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.00
Iluminación LED (500 lux)	500.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Laptop + impresora térmica	100.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
UPS para equipos críticos	300.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
<i>Secadora Eléctrica</i>														
Componentes del equipo	18650.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	4.16	3.16	4.36	23.86	20.76	23.09	23.61	4.16	3.96	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	2.57	2.07	3.17	22.29	20.26	21.81	22.07	2.52	2.42	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 10

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV E2: MAYO

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Laboratorio</i>														
Espectrofotómetro portátil (UV-Vis)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Analizador de humedad compacto	300.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
pH-metro/conductímetro digital	200.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Estufa de secado compacta (50°C)	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Incubadora pequeña (fermentación)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Balanza analítica de precisión	100.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Mini-split inverter (12,000 BTU)	1000.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.00
Iluminación LED (500 lux)	500.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Laptop + impresora térmica	100.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
UPS para equipos críticos	300.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
<i>Secadora Eléctrica</i>														
Componentes del equipo	18650.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	4.16	###	23.01	23.86	20.76	23.09	4.96	4.16	3.96	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	2.57	###	21.82	22.29	20.26	21.81	3.42	2.52	2.42	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 11

PERFIL DE CARGA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA FV E2: JUNIO – DICIEMBRE

Tipo de Carga	Potencia Total Instalada [W]	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>Villa del guardia</i>														
Iluminación	25.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Televisor	170.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Ventilador	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Refrigerador	25.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Electrónicos	35.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Laboratorio</i>														
Espectrofotómetro portátil (UV-Vis)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Analizador de humedad compacto	300.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
pH-metro/conductímetro digital	200.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Estufa de secado compacta (50°C)	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Incubadora pequeña (fermentación)	800.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Balanza analítica de precisión	100.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
Mini-split inverter (12,000 BTU)	1000.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.00
Iluminación LED (500 lux)	500.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Laptop + impresora térmica	100.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00
UPS para equipos críticos	300.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00
<i>Secadora Eléctrica</i>														
Componentes del equipo	18650.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Sistema de bombeo</i>														
Bomba Eléctrica	18750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Potencia Simultanea [kW]		0.26	0.09	4.16	3.16	23.11	23.96	20.86	23.19	23.71	4.16	3.96	0.06	0.34
Energía Consumida [kWh]		0.24	0.06	2.57	2.07	21.92	22.39	20.36	21.91	22.17	2.52	2.42	0.05	0.23

Fuente: Autor

ANEXO 12

TABLA DIARIA HISTÓRICA DE IRRADIANCIAS MÍNIMAS DE LA ZONA (2010-2024)
kWh/m²/día

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	1.90	1.69	1.85	2.97	2.46	1.68	1.98	1.95	2.37	2.78	2.24	1.73
2011	2.92	1.37	2.60	2.63	1.97	2.07	2.17	2.79	2.77	2.30	2.65	1.86
2012	1.70	2.46	3.14	3.32	2.60	2.09	2.34	2.23	2.93	2.46	1.99	2.17
2013	2.01	1.91	2.71	2.54	2.18	2.28	2.36	2.04	2.50	2.38	2.28	2.39
2014	2.04	2.05	3.09	1.69	2.45	2.25	2.70	2.33	2.15	2.38	2.91	2.45
2015	1.86	2.59	2.55	3.47	2.80	2.83	2.37	2.34	2.65	2.26	2.28	2.67
2016	2.29	1.72	2.15	2.31	2.56	2.24	2.09	3.08	2.01	2.61	2.36	2.22
2017	2.03	3.37	2.87	2.14	2.60	2.33	2.57	2.21	2.12	2.62	2.70	1.99
2018	3.02	2.57	1.29	2.21	1.84	2.40	2.36	2.56	2.70	2.40	2.17	1.94
2019	1.96	3.19	2.22	2.50	2.30	1.71	2.12	2.27	2.48	2.84	1.88	2.29
2020	2.41	2.35	2.50	3.40	2.95	2.29	2.11	2.42	2.96	2.79	2.63	2.19
2021	2.69	2.66	2.01	2.65	2.39	2.25	2.16	2.58	2.60	2.57	2.81	2.00
2022	2.01	2.34	2.77	2.40	2.10	2.07	2.34	2.23	2.42	2.90	3.23	2.35
2023	2.34	2.77	2.54	2.90	2.48	2.55	2.48	2.81	2.74	2.95	3.12	2.30
2024	2.39	2.45	2.89	2.20	1.92	2.38	2.59	2.14	2.40	2.73	3.38	2.32

Fuente: (NASA POWER, 2025)

ANEXO 13

SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA FV, E1 y E2: ENERO – ABRIL

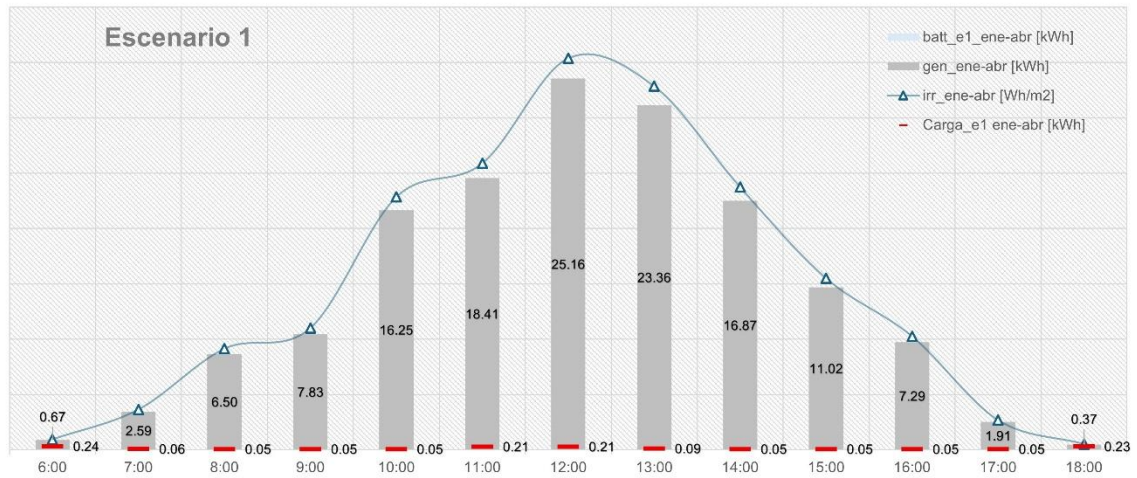


Figura A

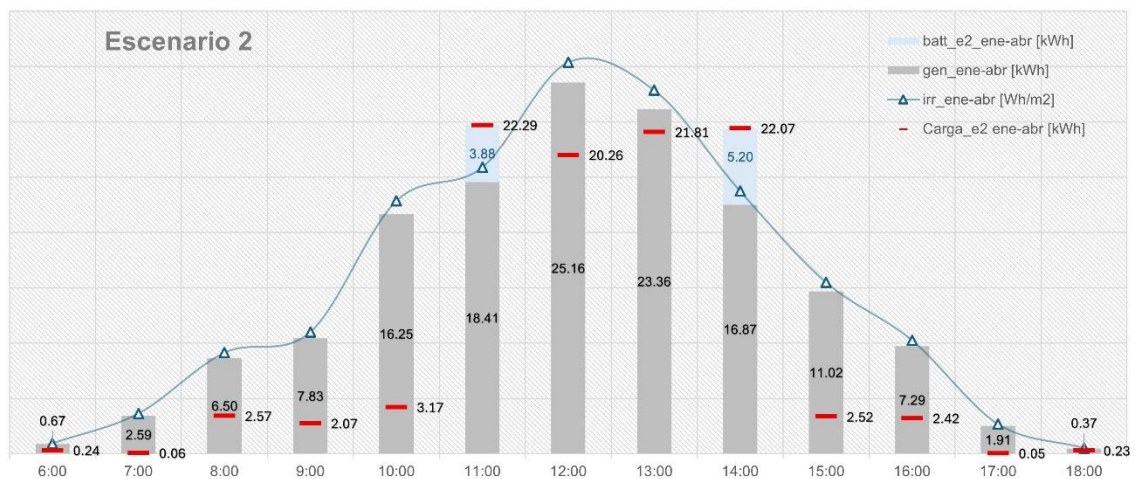


Figura B

Fuente: Autor

ANEXO 14

SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA FV, E1 y E2: MAYO



Figura A

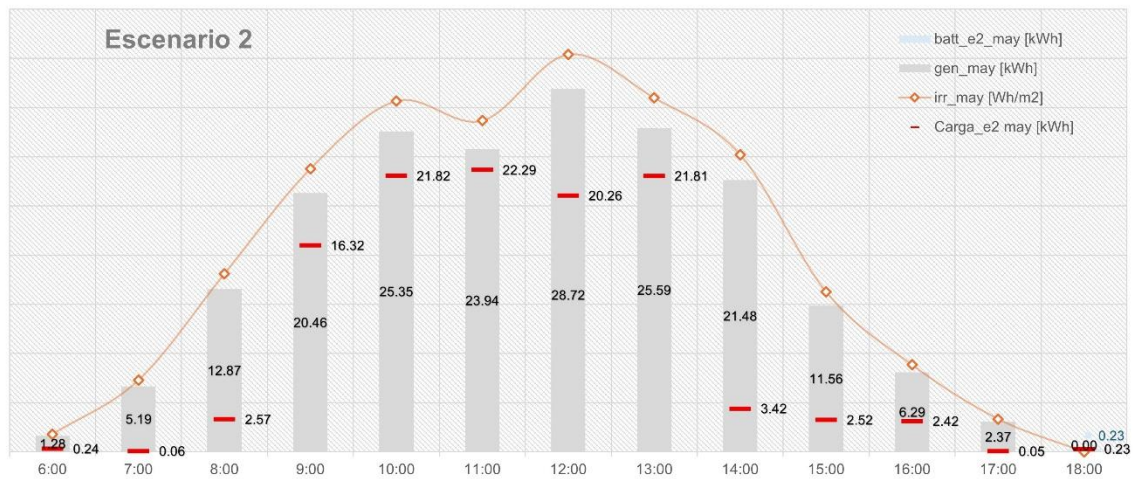


Figura B

Fuente: Autor