

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALIMENTADO POR
PANELES FOTOVOLTAICOS PARA OPTIMIZAR LA
PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE CAFÉ EN EL DISTRITO DE
VILLA RICA – PROVINCIA DE OXAPAMPA – DEPARTAMENTO
PASCO - 2023”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

AUTORES: LORGIO SEGUNDO CAMPOS MARTEL

DANILO SAMANIEGO LOPEZ

GERMAN BELTRAN TICONA APAZA

ASESOR: ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

TESIS_LORGIO_DANILO_GERMAN (1)

22%
Textos sospechosos



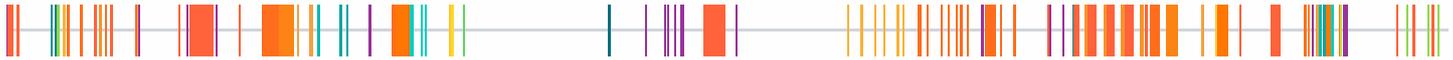
22% Similitudes
3% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS_LORGIO_DANILO_GERMAN (1).docx
ID del documento: 6c5be83de6ea7b55e8284cab33c288802b32b157
Tamaño del documento original: 2,58 MB

Depositante: FIEE PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION
Fecha de depósito: 30/1/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/1/2024

Número de palabras: 17.118
Número de caracteres: 109.173

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	unac.edu.pe https://unac.edu.pe/wp-content/uploads/documentos/transparencia/articulo-11/11-2/transparencia-... 1 fuente similar	7%		Palabras idénticas: 7% (1221 palabras)
2	repositorio.uan.edu.co http://repositorio.uan.edu.co:8080/bitstream/123456789/6849/1/2022_SamuelDavidMuniveGiraldo... 11 fuentes similares	4%		Palabras idénticas: 4% (745 palabras)
3	pdfslide.net (PDF) DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA ... - ... https://pdfslide.net/documents/diseo-de-un-sistema-de-bombeco-fotovoltaiico-para-.html 15 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (398 palabras)
4	repositorio.unipiloto.edu.co http://repositorio.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10814/PG-21-1-04_Biblioteca_VFin... 1 fuente similar	2%		Palabras idénticas: 2% (323 palabras)
5	1library.co Estadística inferencial - Metodología de la investigación https://1library.co/article/estadística-inferencial-metodología-de-la-investigación.zgw74277 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (192 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucv.edu.pe Diseño del sistema de bombeo con energía sustentable p... https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82795?locale-attribute=es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	www.revistasocialfronteriza.com Educación y Desarrollo Rural: Análisis Concept... https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/30	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
3	todoingenierias.com Importancia de la ingeniería civil en el medio ambiente https://todoingenierias.com/importancia-de-la-ingeniería-civil-en-el-medio-ambiente/#:~:text=Los in...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
4	Documento de otro usuario #638928 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
5	dialnet.unirioja.es https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8681781.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

Fuente mencionada (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4005884-compendio-estadistico-pasco-2022>

INFORMACIÓN BÁSICA

- **FACULTAD**

Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica

- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

Unidad de Pregrado

- **TÍTULO:**

“Diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos para optimizar la productividad del cultivo de café en el distrito de Villa Rica – provincia de Oxapampa – departamento Pasco - 2023”

- **AUTOR(ES):**

Nombre: Lorgio Segundo Campos Martel

DNI: 71710479

Código ORCID: 0000-0001-9787-3390

Nombre: Danilo Samaniego Lopez

DNI: 73483918

Código ORCID: 0009-0007-4378-4844

Nombre: German Beltran Ticona Apaza

DNI: 47607878

Código ORCID: 0009-0007-5641-1860

- **ASESOR:**

Nombre: Adán Almircar Tejada Cabanillas

DNI: 06148210

Código ORCID: 0000-0002-9736-3654

- **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Distrito de Villa Rica – Provincia Oxapampa – Departamento Pasco

- **UNIDAD DE ANÁLISIS**

Productores de café

- **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Tipo: Descriptivo y Tecnológico / Enfoque: cuantitativo / Diseño: Pre experimental

- **TEMA OCDE**

Ingeniería y tecnología

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE
TESIS SIN CICLO DE TESIS

Al día 17 del mes de mayo de 2024 siendo las 15:30 horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, aprobada mediante Resolución Decanal N°094-2024-DFIEE, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

Mg. Ing. **CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA**
Dr. Ing. **SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMÉNEZ**
M.Sc. Ing. **CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ**

Presidente
Secretario
Vocal

Asimismo se dio inicio a la exposición de TESIS de los señores Bachilleres **CAMPOS MARTEL Lorgio Segundo; SAMANIEGO LOPEZ, Danilo y TICONA APAZA, German Beltrán;** quienes habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional en Ingeniería Eléctrica como lo señalan los Arts. N°s 08 al 10 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentará la Tesis Titulada: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALIMENTADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE CAFÉ EN EL DISTRITO DE VILLA RICA – PROVINCIA DE OXAPAMPA – DEPARTAMENTO PASCO - 2023”** con el quórum Reglamentario de Ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en el Art. N° 80 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 150-23-CU, en el Sub Capítulo II, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis sin Ciclo de Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por..... APROBADO Calificativo..... BUENO nota:..... 15 a los expositores **CAMPOS MARTEL Lorgio Segundo; SAMANIEGO LOPEZ, Danilo y TICONA APAZA, German Beltrán;** con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las..... 16:30 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 258 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.

.....

.....
Mg. Ing. **Carlos Alberto Huayllasco Montalva**
PRESIDENTE

.....

.....
Dr. Ing. **Santiago Linder Rubiños Jiménez**
SECRETARIO

.....

.....
M.Sc. Ing. **Carlos Humberto Alfaro Rodríguez**
VOCAL

.....
.....
SUPLENTE

DEDICATORIA

Dedicamos con mucho esfuerzo nuestra tesis principalmente a nuestros queridos padres que siempre estuvieron presente desde el inicio del proceso y todos los que aportaron de alguna forma en lograr nuestras metas. Este trabajo de investigación está a manos para todas las personas que quieran beneficiarse y de esta manera contribuir a la sociedad en el desarrollo de nuestro país.

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer primordialmente a nuestro asesor por apoyarnos en este proceso, también a los profesores que nos formaron en el transcurso de nuestra etapa universitaria y nuestra querida familia que estuvieron desde un inicio en todos los aspectos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICOS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.4. Justificación	11
1.4.1. Justificación teórica	11
1.4.2. Justificación practica	12
1.4.3. Justificación social.....	12
1.4.4. Justificación metodológica.....	13
1.5. Delimitantes de la investigación	13
1.5.1. Delimitante teórica.....	13
1.5.2. Delimitante temporal.....	13
1.5.3. Delimitante espacial	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	15
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	17
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos	19
2.2.1. Productividad de cultivo.....	23
2.3. Marco conceptual.....	25
2.4. Definición de términos básicos.....	27
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	29
3.1. Hipótesis	29
3.1.1. Operacionalización de variable.....	30
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	31

4.1.	Diseño metodológico	31
4.2.	Método de investigación	32
4.3.	Población y muestra	32
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	33
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	33
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	34
4.7.	Aspectos éticos en investigación	35
V.	RESULTADOS	36
5.1.	Características Geográficas.....	36
5.2.	Sistema de bombeo	39
5.3.	Sistema de paneles Solares	43
5.4.	Pre -Test.....	49
5.5.	Post – Test.....	51
5.6.	Plan de Mantenimiento	54
5.7.	Análisis de Costo – Beneficio.....	56
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	57
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	61
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	64
VII.	CONCLUSIONES	66
VIII.	RECOMENDACIONES	67
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS.....	71
	ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	72
	ANEXO N.º 02: INSTRUMENTO	73
	ANEXO N.º 03: BASE DE DATOS	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Ámbito Geográfico de la cooperativa	10
Figura 2. Mapa del departamento de Pasco	37
Figura 3. Variedades de café cultivadas en las fincas. Villa Rica	38
Figura 4. Características agronómicas consideradas al momento de elegir una variedad de café	39
Figura 5. Diagrama de Moody.....	42
Figura 6. Panel para electrificación fotovoltaica	45
Figura 7. Batería para almacenamiento eléctrico	45
Figura 8. Inversor para el Kit solar	45
Figura 9. Regulador de tensión.....	46
Figura 10. Esquema del sistema de riego con paneles fotovoltaicos y sistema de riego.....	48
Figura 11. Diseño CAD del sistema de riego por goteo con instalación de paneles solares.....	48
Figura 12. PRE TEST - Rendimiento de Café por Hectárea.....	49
Figura 13. PRE TEST – Calidad del café.....	50
Figura 14. PRE TEST – Consumo de Energía no Renovable	50
Figura 15. POST TEST - Rendimiento de Café por Hectárea	51
Figura 16. POST TEST – Calidad del café.....	52
Figura 17. POST TEST – Consumo de energía no Renovable	52
Figura 18. Comparativa Pre y Post Test del Rendimiento de Café por Hectárea (Kg/ha).....	53
Figura 19. Comparativa Pre y Post Test de la Puntuación de la Calidad del Café	53
Figura 20. Comparativa Pre y Post Test del Consumo de Energía No renovable	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	30
Tabla 2. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías	40
Tabla 3. Longitudes equivalentes de diferentes accesorios	42
Tabla 4. Longitudes equivalentes de accesorio calculado.....	42
Teniendo en cuenta las condiciones de potencia de la bomba se selecciona el sistema fotovoltaico y de baterías con base en los elementos mostrados en la	
Tabla 5. Componentes eléctricos de base	46
Tabla 6. Cantidad de elementos necesarios	47
Tabla 7. Costos de implementación	56
Tabla 8. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la productividad	57
Tabla 9. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la optimización de producción.....	58
Tabla 10. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la calidad del café	59
Tabla 11. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y eficiencia en el uso de recursos	60

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HDPE: High Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad)

mm: milímetros

m³/h: metros cúbicos por hora

kW.h/m²/día: kilowatt hora por metro cuadrado por día

Ah: Ampere-hora

kW: kilowatt

v: volt

PV: Paneles fotovoltaicos

ROI: Retorno de Inversión

SRA: Sistema de Riego Automatizado

RESUMEN

Objetivo: Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Metodología: La investigación descriptiva y tecnológica con un diseño preexperimental y un método hipotético – deductivo. La población estuvo conformada por 22 productores de café de la zona.

Resultados: Se aprecia que el grado de relación entre las variables determinadas por el coeficiente Rho de Spearman = ,842 lo cual significa que existe una relación positiva y alta entre las variables. Entendiendo por tanto que se obtiene una optimización de la productividad. Con base en lo expuesto, en la aplicación práctica se concluye que para abastecer la bomba de 750W durante 3 horas diarias, resulta adecuado contar con 2 paneles de 330W y 2 baterías de 120Ah. En cada uno de los productores donde se realizó la implementación del sistema de bombeo se vio una mejora en el rendimiento de Café, en la calidad del mismo y se disminuyó el uso de recursos no renovables. El sistema solo cuenta con 2 paneles solares, 1 estructura de aluminio, 1 inversor, 2 baterías, 1 acometida eléctrica y 1 regulador de tensión.

Conclusiones: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Palabras clave: sistema de bombeo, paneles fotovoltaicos, productividad.

ABSTRACT

Objective: Determine how the design of a pumping system powered by photovoltaic panels optimizes the productivity of coffee cultivation in the district of Villa Rica – province of Oxapampa – department of Pasco – 2023.

Methodology: Descriptive and technological research with a pre-experimental design and a hypothetical-deductive method. The population was made up of 22 coffee producers in the area.

Results: It can be seen that the degree of relationship between the variables determined by Spearman's Rho coefficient = .842, which means that there is a positive and high relationship between the variables. Understanding therefore that an optimization of productivity is obtained. Based on the above, in the practical application it is concluded that to supply the 750W pump for 3 hours a day, it is appropriate to have 2 330W panels and 2 120Ah batteries. In each of the producers where the pumping system was implemented, there was an improvement in coffee yield and quality, and the use of non-renewable resources was reduced. The system only has 2 solar panels, 1 aluminum structure, 1 inverter, 2 batteries, 1 electrical connection and 1 tension regulator.

Conclusions: The design of a pumping system powered by photovoltaic panels optimizes the productivity of coffee cultivation in the district of Villa Rica – Oxapampa province – Pasco department – 2023.

Keywords: pumping system, photovoltaic panels, productivity.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la creciente demanda mundial de café de alta calidad y la necesidad de adoptar prácticas agrícolas sostenibles, el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos se presenta como una solución innovadora para optimizar la productividad del cultivo de café en el distrito de Villa Rica, ubicado en la provincia de Oxapampa, en el departamento de Pasco.

El café es uno de los principales productos agrícolas de la región, y su cultivo desempeña un papel crucial en la economía local. Sin embargo, el acceso a fuentes de agua confiables y eficientes para el riego se ha convertido en un desafío para los agricultores de la zona. Los métodos de bombeo tradicionales, que dependen de combustibles fósiles, resultan costosos y poco sostenibles desde el punto de vista ambiental.

En este contexto, el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos se presenta como una alternativa prometedora. La energía solar fotovoltaica ofrece una fuente de energía limpia y renovable que puede alimentar una bomba de agua, permitiendo un suministro constante y eficiente para el riego de los cultivos de café.

El objetivo de este estudio es desarrollar un diseño técnico y económico de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos adaptado a las necesidades específicas del distrito de Villa Rica. Se analizarán factores como la disponibilidad de recursos solares, la demanda de agua para el riego y las características del cultivo de café local. Además, se evaluarán los beneficios ambientales, económicos y sociales que este sistema puede ofrecer a los agricultores y a la comunidad en general.

Se espera que los resultados de este estudio proporcionen una base sólida para la implementación de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos en el distrito de Villa Rica, contribuyendo así a la mejora de la productividad del cultivo de café y a la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles en la región.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, la agricultura enfrenta múltiples desafíos, incluyendo el cambio climático, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de adoptar prácticas agrícolas sostenibles. Estos factores impactan directamente la productividad de los cultivos, incluyendo el café, que es un producto de gran relevancia a nivel global.

En el contexto de Perú, el sector agrícola desempeña un papel crucial en la economía y la seguridad alimentaria del país. Sin embargo, los agricultores peruanos se enfrentan a diversas problemáticas, como la falta de acceso a fuentes de agua confiables y el aumento de los costos de los combustibles fósiles utilizados en los sistemas de bombeo tradicionales. Estas dificultades afectan la productividad y rentabilidad de los cultivos, incluyendo el café, que es una de las principales fuentes de ingresos en algunas regiones del país.

A nivel del distrito de Villa Rica, ubicado en la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco, se presenta una realidad similar. Los agricultores de esta zona se enfrentan a desafíos relacionados con la disponibilidad de agua para el riego de sus cultivos de café. Además, los métodos de bombeo tradicionales, que dependen de combustibles fósiles, resultan costosos y poco sostenibles desde el punto de vista ambiental.

Esta situación plantea la necesidad de buscar alternativas innovadoras y sostenibles para optimizar la productividad del cultivo de café en el distrito de Villa Rica. En este sentido, el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos se presenta como una solución prometedora, ya que aprovecha la energía solar para proporcionar un suministro constante y eficiente de agua para el riego. Esta tecnología no solo contribuiría a mejorar la productividad del café, sino que también reduciría la dependencia de combustibles fósiles y mitigaría el impacto ambiental negativo asociado con los métodos convencionales de bombeo.

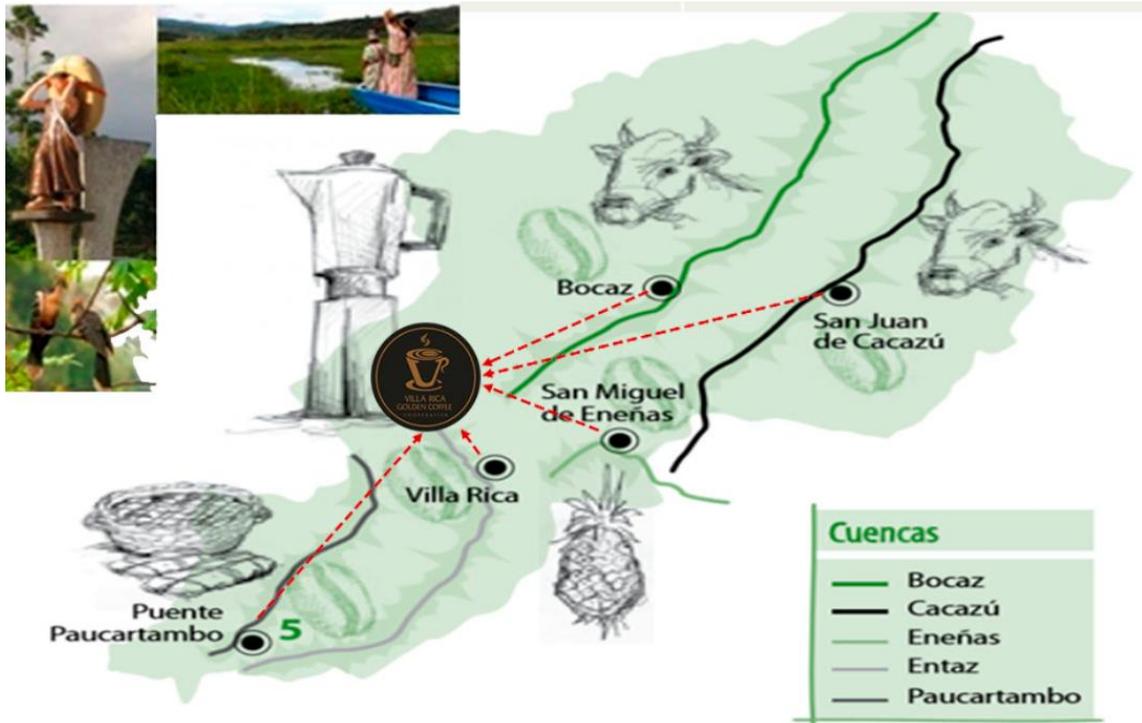


Figura 1. Ámbito Geográfico de la cooperativa

Por ello se plantea determinar de qué manera el sistema de generación fotovoltaica mejora la estabilidad eléctrica en el Club Sauce Alto Resort - Distrito de Cieneguilla – 2023.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?

Problemas específicos

¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?

¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?

- ¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

Objetivos específicos

- Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.
- Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.
- Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

El uso de energía solar a través de paneles fotovoltaicos representa una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente, al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, al asegurar un suministro constante y confiable de agua para el riego del cultivo de café, el sistema de bombeo fotovoltaico puede contribuir a maximizar la productividad y la calidad de los cultivos, optimizando las condiciones de crecimiento y minimizando los efectos

negativos de la escasez de agua. Asimismo, el diseño de este sistema puede fomentar la eficiencia en el uso de recursos, al evitar pérdidas y desperdicios de agua, y reducir los costos asociados con el bombeo de agua utilizando fuentes de energía convencionales. Por lo tanto, el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos es una solución técnica viable y prometedora para mejorar la productividad del cultivo de café en la zona mencionada, alineándose con los principios de sostenibilidad, eficiencia energética y preservación del medio ambiente. [1]

1.4.2. Justificación practica

Al utilizar la energía solar como fuente de energía renovable y gratuita, se reduce significativamente el costo de la electricidad necesaria para el bombeo de agua, lo que resulta en ahorros financieros a largo plazo para los agricultores. Además, el suministro constante y confiable de agua para el riego del cultivo de café a través del sistema de bombeo fotovoltaico garantiza un crecimiento óptimo de las plantas, lo que se traduce en un aumento en la producción y, en última instancia, en mayores ganancias económicas para los agricultores. Además, al disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, se reduce la vulnerabilidad a los aumentos de precios y las fluctuaciones en el suministro de energía convencional. Por lo tanto, el diseño de este sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos ofrece una solución práctica y rentable para mejorar la productividad del cultivo de café en el área mencionada, brindando beneficios económicos directos a los agricultores y promoviendo la sostenibilidad y la independencia energética. [2]

1.4.3. Justificación social

La justificación social radica en la necesidad urgente de mejorar las condiciones de vida y el bienestar socioeconómico de los agricultores locales mediante la implementación de tecnologías sostenibles y eficientes. En una región donde la agricultura del café es una de las principales actividades económicas, pero enfrenta desafíos significativos debido a la escasez de recursos hídricos y los altos costos de energía, el uso de un sistema de bombeo solar proporcionará una fuente de riego confiable y económica. Esto no solo permitirá aumentar la

productividad y calidad del cultivo, sino que también contribuirá a la reducción de la pobreza, la creación de empleo y el desarrollo sostenible de la comunidad. Además, el proyecto promoverá la adopción de energías limpias, reduciendo la huella de carbono y el impacto ambiental, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y conservación del medio ambiente.[3]

1.4.4. Justificación metodológica

La justificación metodológica se basa en la aplicación de un enfoque integral y sistemático que combina el análisis técnico, económico y ambiental para desarrollar una solución de riego eficiente y sostenible. La metodología propuesta incluirá la evaluación detallada de las condiciones agroclimáticas y geográficas de la región, el dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico, y la implementación de pruebas piloto para asegurar su viabilidad y efectividad. Mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación y modelado, se optimizará el rendimiento energético y se minimizarán los costos operativos. Además, se adoptarán prácticas de ingeniería participativa que involucrarán a los agricultores locales en el proceso, asegurando que el sistema diseñado responda adecuadamente a sus necesidades y capacidades. Este enfoque metodológico no solo garantizará la precisión y relevancia del diseño, sino que también facilitará la transferencia tecnológica y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.[4]

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitante teórica

Se centra en la aplicación de los principios y conocimientos de la ingeniería eléctrica y la tecnología fotovoltaica. Se considerarán conceptos relacionados con los paneles solares, inversores, controladores de carga y otros componentes necesarios para diseñar un sistema de bombeo eficiente y optimizado. [3]

1.5.2. Delimitante temporal

Se enfocará específicamente en un periodo de 6 meses calendarios teniendo su inicio en junio hasta noviembre, considerando los avances tecnológicos y las condiciones actuales en cuanto a la disponibilidad de equipos, tecnología

fotovoltaica y regulaciones relacionadas con la implementación de sistemas de bombeo alimentados por energía solar en el distrito de Villa Rica.

1.5.3. Delimitante espacial

El diseño del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos estará adaptado a las características geográficas, climáticas y de infraestructura específicas de esta área. Se tendrán en cuenta las condiciones locales, como la radiación solar, la topografía y los recursos hídricos disponibles en la zona para garantizar la viabilidad y eficiencia del sistema propuesto. Teniendo su desarrollo en el Distrito de Villa Rica – Provincia Oxapampa – Departamento Pasco.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación realizada por Munive y Pereira en 2022, titulada "Diseño de un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego en un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia," se planteó como objetivo diseñar un sistema de bombeo solar para el riego de ñame en dicha región. La metodología fue descriptiva y tecnológica. Los resultados indicaron que una bomba de 0,75 kW, 2 paneles solares de 330 W, 2 baterías de 100 Ah y un inversor de 3 kW, con un costo total de casi 16 millones de pesos, eran suficientes. El proyecto mostró un retorno de inversión de 16 años comparado con la red eléctrica nacional y de 1,8 años respecto al uso de planta eléctrica. En zonas rurales con conexión eléctrica deficiente, el proyecto resulta viable. Se concluyó que el sistema de riego solar dimensionado para media hectárea puede cubrir las necesidades de riego en épocas sin lluvia.[1]

En la investigación realizada por Hospital y González en 2021, titulada "Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca," se planteó como objetivo diseñar un sistema de bombeo solar para beneficiar al municipio de Chaguaní, Cundinamarca, Colombia. La metodología utilizada fue descriptiva y tecnológica. Los resultados mostraron que se requería una bomba y motor sumergible comercial de 15HP para cumplir con las demandas de caudal y altura necesarias, con un consumo energético de 50424.75W diarios. El sistema fotovoltaico se dimensionó con paneles solares de 380W a 24V, 2 baterías de 3420Ah a 48 volt, 2 controladores de carga de 85Amp y uno de 60Amp, y dos inversores de 8kW y 6kW. Se concluyó que el diseño del sistema de bombeo solar fotovoltaico es beneficioso para el departamento de Cundinamarca, cumpliendo con las necesidades energéticas y hídricas del proyecto.[2]

En la investigación realizada por Sangucho y Villacis en 2021, titulada "Diseño e implementación de un sistema de bombeo de agua, alimentado por un sistema

fotovoltaico para riego por goteo en el barrio Rumipamba de Navas-Salcedo," se tuvo como objetivo instalar un sistema de bombeo solar para el riego por goteo en dicho barrio, empleando una metodología experimental y de campo. Los resultados mostraron que se abastecieron tres invernaderos de tomate riñón, con áreas de 3000 m², 2000 m² y 1300 m², utilizando tres paneles solares, tres baterías, un regulador de carga y un inversor, junto con una bomba de ¾ HP. La implementación demostró un funcionamiento adecuado, registrando una corriente de inicio de 6 A y una corriente máxima de 34 A de los paneles. Se concluyó que el sistema de bombeo, diseñado mediante cálculos precisos, satisfizo las necesidades de riego de los invernaderos en el Barrio Rumipamba de Navas, Cantón Salcedo.[4]

En la investigación realizada por Alulema en 2022, titulada "Diseño y construcción de un sistema de bombeo y riego alimentado mediante un panel fotovoltaico con electroválvulas y aspersores para la irrigación de la Hostería Casa Maya," el objetivo fue desarrollar un sistema de riego y bombeo solar para las áreas verdes de la hostería. La metodología fue descriptiva. Los resultados, verificados mediante simulación en Epanet, mostraron que los valores de caudal, velocidad, presión y altura piezométrica cumplían con los requisitos hidráulicos, garantizando los 20 metros de columna de agua necesarios para evitar golpes de ariete. Los datos ingresados en Epanet coincidieron con la curva característica de la bomba agrícola W3570 RL, que mostró una eficiencia del 42.75%. Además, las herramientas FluidSIM y CADeSIM validaron el funcionamiento electrónico y eléctrico del sistema, confirmando la correcta selección del controlador, las electroválvulas, la tensión y el cableado del sistema.[5]

En la investigación realizada por Yec en 2022, titulada "Diseño de un sistema de bombeo y recolección de agua pluvial para un proceso de purificación de agua para el Parque Ecológico La Asunción," se planteó diseñar un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos y un dispositivo para la recolección de agua de lluvia, destinados a la purificación de agua en el parque ubicado en la zona 5 de la ciudad de Guatemala. El enfoque de investigación fue descriptivo y tecnológico. Los resultados indicaron que, aunque se seleccionó una bomba

de mayor capacidad de la necesaria, esto proporcionó un margen de seguridad que garantiza la llegada del agua al colector solar bajo diversas condiciones y permite transportar el agua a distancias mayores. Asimismo, el sistema eléctrico, dimensionado por encima de los requisitos de potencia, asegura el funcionamiento exitoso de todos los componentes eléctricos y permite cargar otros dispositivos del parque. En conclusión, el sistema de bombeo y recolección de agua pluvial diseñado es viable para la captura y transporte de agua de lluvia hacia el colector solar, facilitando el proceso de purificación de agua y abriendo la posibilidad de otros usos para el agua recolectada.[6]

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación realizada por Cerna en 2021, titulada "Diseño del Sistema de Bombeo con Energía Sustentable Para Abastecer Agua de Riego al Anexo Chakiqampa – Vinchos – Huamanga – Ayacucho," se planteó como objetivo evaluar la zona de estudio para diseñar un sistema de bombeo y almacenamiento de agua para el anexo Chakiqampa. La metodología fue de tipo básica con un diseño descriptivo. Los resultados indicaron que las áreas de cultivo podían sembrar y cosechar todo el año, permitiendo calcular el agua de riego necesaria en temporadas secas. Se decidió usar tubería HDPE de 63 mm, que transporta un caudal de 27 m³/h a lo largo de 500 metros, por su fácil instalación, alta resistencia y flexibilidad. Se determinó que cada estación de bombeo requiere 50 m² de espacio y una bomba sumergible. La buena irradiación solar de Ayacucho (4.2 kWh/m²/día) permitió dimensionar los paneles solares, y se diseñó una captación aguas arriba para abastecer una cisterna con una bomba sumergible a 3 m de profundidad.[3]

La investigación realizada por Dávalos en 2019 tuvo como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío La Guayaba, en el Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén – Cajamarca. La metodología fue aplicada con un enfoque descriptivo y un diseño no experimental. Los resultados indicaron que la potencia de generación calculada de 1,723.62 W era suficiente para bombear 10 m³/h, garantizando la demanda hídrica incluso durante el mes con menor radiación solar. Se estimó una demanda energética diaria de 3,117.4

Wh, y una potencia hidráulica de 840.27 W, resultando en una potencia eléctrica de la motobomba de 1.29 kW con un rendimiento del 65%. El sistema fotovoltaico requería 16 paneles de 100 Wp, un controlador de carga, una motobomba solar y un reservorio de 40,000 litros para un día de autonomía. Se concluyó que el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico era eficiente para el riego agrícola en el caserío La Guayaba, distrito de Bellavista, provincia de Jaén – Cajamarca.[7]

En la investigación llevada a cabo por Yarlaque y Flores en 2019, titulada "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la finca San José – Caserío La Colorada – distrito de Morrope departamento de Lambayeque," el objetivo fue desarrollar un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego por goteo en la Finca San José. La metodología empleada fue descriptiva. Los resultados mostraron una demanda diaria de potencia de 3,030.30 watts para los equipos de bombeo y control, abastecida por 8 paneles solares de 100 watts pico cada uno conectados en paralelo, almacenando energía en 5 baterías de 24 volt y 130 ampere-hora. Se utilizó una electrobomba sumergible Pedrollo 4 Block y un inversor de 4000 watts para transformar la corriente de corriente continua a corriente alterna. Estos equipos bombearían agua a un tanque elevado con capacidad de 274.63 metros cúbicos y controlarían el riego desde un tablero. Se determinó un caudal necesario de 2.82 litros por segundo para irrigar 3 hectáreas de cultivo en el día más seco del año, lo que implica bombear un volumen total de 270.4 metros cúbicos al día. La investigación concluyó que el riego por goteo era el método más adecuado para la zona.[8]

En la investigación realizada por Mariños y Medina en 2021, titulada "Diseño de un Sistema de Bombeo accionado por Paneles fotovoltaicos para extracción de Agua a la Ciudadela Muchick – Pacasmayo – La Libertad", se propuso desarrollar un sistema de bombeo impulsado por energía solar, utilizando paneles fotovoltaicos, para abastecer de agua a un tanque elevado y satisfacer las necesidades hídricas en la ciudadela Muchick-Pacasmayo. Se empleó un enfoque metodológico de diseño transversal, utilizando técnicas como observación, entrevistas y análisis de documentos para recopilar y analizar los datos. Los resultados revelaron que las especificaciones del diseño del sistema incluyen un caudal de operación de 6.0 metros cúbicos por hora, una altura de

bombeo de 20 metros, una potencia de accionamiento de 546.08 watts y pérdidas de carga entre 8.19 y 0.89 metros. Estos parámetros se ajustan a una bomba sumergible KONTRACT y paneles fotovoltaicos BAUER de 370 watts, con una tensión de 24 volt y una corriente de 9.23 A, basados en una irradiación solar promedio de 5.59 kWh/m² en la ciudadela. Con cotizaciones de proveedores nacionales, se estimó que el proyecto tendría un costo de S/. 30,343.05.[9]

En la investigación realizada por Bermeo y Silva en 2022, titulada "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado puerto Tamborapa, distrito Chirinos - San Ignacio", se buscó desarrollar un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego agrícola en dicho centro poblado, específicamente para el cultivo de maíz. La metodología descriptiva combinó trabajo de campo y trabajo en gabinete, determinando la radiación solar en la zona mediante datos de la NASA, calculando la potencia necesaria para el sistema y dimensionando sus componentes. Se utilizó la herramienta de simulación SISIFO para simular el sistema, seleccionar componentes y comparar resultados. La evaluación económica mostró que el proyecto era rentable, con un VAN positivo de S/. 7933.12, una TIR del 12 % y un LCOE de 0.67 soles por kWh. La simulación con SISIFO permitió estimar la producción diaria y mensual de energía del sistema de bombeo fotovoltaico.[10]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos

Según Angulo, Verá, Farfán, Caicedo y Copete en el 2022 mencionan que un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos es una solución de eficiencia energética renovable que utiliza la energía solar captada por los paneles fotovoltaicos para alimentar la bomba de agua. Esta tecnología aprovecha la energía solar, una fuente inagotable y limpia, para generar la energía necesaria para el bombeo de agua, evitando así la dependencia de combustibles fósiles y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.[11]

Como menciona Rivas en el 2021, el sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos permite una mayor autonomía y descentralización en el suministro de agua. Al no depender de la red eléctrica convencional, este sistema puede ser instalado en áreas remotas o rurales donde el acceso a la electricidad es limitado. Esto brinda la oportunidad de llevar agua potable y sistemas de riego a comunidades que de otra manera no podrían acceder a ellos, mejorando así la calidad de vida y fomentando el desarrollo sostenible en esas áreas. Además, al ser un sistema autónomo, no está sujeto a cortes de energía y garantiza un suministro constante de agua.[12]

Demanda de Agua del Cultivo:

Realiza un análisis detallado de la demanda hídrica del cultivo de café en el Distrito de Villa Rica. Considera factores como el tipo de suelo, la etapa de crecimiento de las plantas, las condiciones climáticas locales y las prácticas agronómicas específicas. La información sobre la cantidad de agua necesaria para el riego en diferentes momentos del ciclo de crecimiento ayudará a dimensionar adecuadamente el sistema de bombeo.

Disponibilidad de Recursos Solares:

Recopila datos históricos sobre la radiación solar en la región de Villa Rica. Utiliza mapas de radiación solar, estaciones meteorológicas locales o datos proporcionados por servicios meteorológicos para comprender la variabilidad estacional y diaria de la radiación solar. Esto permitirá estimar la producción de energía solar a lo largo del año y dimensionar los paneles fotovoltaicos en consecuencia.

Eficiencia del Sistema de Paneles Fotovoltaicos:

Investiga las características técnicas y la eficiencia de diferentes tipos de paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado. Considera factores como la eficiencia de conversión, la durabilidad y la resistencia a condiciones climáticas adversas. Consulta a proveedores confiables y revisa estudios de caso para obtener información sobre el rendimiento real de los paneles en condiciones similares a las de Villa Rica.

Almacenamiento de Energía:

Evalúa las opciones de almacenamiento de energía, como baterías solares, para garantizar un suministro constante de energía incluso en períodos sin sol. Calcula la capacidad de almacenamiento necesaria en función de la demanda de agua y la variabilidad de la radiación solar. Compara diferentes tecnologías de baterías en términos de eficiencia, vida útil y costos operativos.

Sistema de Bombeo Eficiente:

Selecciona una bomba que se ajuste a la demanda específica de agua y que pueda operar de manera eficiente con la energía proporcionada por los paneles solares. Considera bombas de velocidad variable que puedan adaptarse a cambios en la demanda y sistemas de riego automatizado para optimizar el uso del agua. Consulta con expertos en sistemas de bombeo solar para garantizar la compatibilidad y eficiencia del sistema.

Diseño del Sistema de Riego:

El diseño del sistema de riego debe ser meticuloso y considerar factores clave para garantizar una distribución uniforme del agua en el cultivo de café. La topografía del terreno, como las pendientes y elevaciones, debe ser evaluada para planificar la disposición eficiente de los conductos y evitar problemas de drenaje. Además, el tipo de suelo influye en la velocidad de absorción del agua, por lo que se deben seleccionar métodos de riego que se adapten a estas características. La elección de sistemas como el riego por goteo o la aspersión debe basarse en la optimización del uso del agua y la adaptación al entorno específico del cultivo.

Costos Iniciales y de Mantenimiento:

La estimación de los costos iniciales debe incluir la adquisición e instalación de los paneles solares, baterías, bombas, y demás componentes del sistema de bombeo y riego. Es esencial calcular el retorno de inversión a lo largo del tiempo para evaluar la viabilidad financiera del proyecto. Además, se deben considerar los costos de mantenimiento, incluyendo la vida útil esperada de los componentes y los posibles gastos asociados con reparaciones. Este análisis

financiero detallado proporcionará una visión clara de la inversión requerida y los beneficios económicos a lo largo del ciclo de vida del sistema.

Regulaciones Locales y Permisos:

El cumplimiento de las regulaciones locales es fundamental para el éxito del proyecto. Esto incluye obtener los permisos necesarios para la instalación de los paneles solares y sistemas de bombeo. Es crucial conocer y adherirse a normativas medioambientales y eléctricas locales para garantizar la legalidad y sostenibilidad del proyecto. La colaboración con las autoridades locales y la comprensión profunda de los requisitos normativos contribuirán a evitar problemas legales y asegurar una implementación sin contratiempos.

Capacitación y Soporte Técnico:

Planificar programas de capacitación para los usuarios locales es esencial para garantizar una operación eficiente y segura del sistema. Los agricultores y operadores locales deben comprender el funcionamiento del sistema, los procedimientos de mantenimiento y las precauciones de seguridad. Además, asegurar acceso a un soporte técnico confiable y rápido en caso de problemas es crucial. Esto puede incluir la colaboración con expertos en sistemas de bombeo solar y la creación de canales de comunicación efectivos para resolver cualquier inconveniente de manera oportuna.

Impacto Ambiental y Social:

Evaluar el impacto ambiental y social del sistema es un aspecto crucial de la implementación. Esto implica considerar cómo el sistema afectará la biodiversidad, la calidad del suelo y el agua, y cómo se pueden mitigar los posibles impactos negativos. Además, se debe analizar cómo el proyecto contribuirá positivamente a la comunidad local, ya sea a través de prácticas agrícolas sostenibles, la generación de empleo o el acceso mejorado al agua. La implementación responsable y ética del sistema de bombeo no solo busca optimizar la productividad del cultivo, sino también contribuir al bienestar social y ambiental de la región.

2.2.1. Productividad de cultivo

Según Pérez y sus colaboradores en 2022 dijeron que la productividad de cultivos se refiere a la cantidad y calidad de alimentos y productos agrícolas obtenidos de una determinada área de cultivo. Para aumentar la productividad, es necesario implementar prácticas agrícolas mejoradas. Esto incluye el uso de técnicas de cultivo modernas, como la rotación de cultivos, el uso eficiente de fertilizantes y pesticidas, la irrigación controlada y la selección de variedades de cultivos resistentes y de alto rendimiento. Estas prácticas ayudan a maximizar la producción agrícola, reducir las pérdidas de cultivos y mejorar la rentabilidad para los agricultores.[13]

Como menciona Badillo, Garzón y Barrezueta en 2021 la productividad de los cultivos se puede potenciar mediante la implementación de tecnología agrícola de precisión. Esta tecnología utiliza herramientas como la teledetección, los sistemas de información geográfica (SIG), los sensores remotos y la agricultura de precisión para monitorear y gestionar los cultivos de manera más eficiente. Estas herramientas permiten recopilar datos sobre las condiciones del suelo, el clima, la humedad, los nutrientes y otros factores clave, lo que ayuda a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el momento adecuado para la siembra, el riego, la fertilización y la aplicación de pesticidas. Al optimizar el uso de recursos y minimizar el desperdicio, la tecnología agrícola de precisión contribuye a aumentar la productividad y la rentabilidad de los cultivos.[14]

Selección de Cultivos:

La elección de los cultivos es un factor crítico que influye en la productividad agrícola. Al discutir este punto, se debe considerar cómo la elección de cultivos específicos responde a la demanda del mercado local, regional o internacional. También es esencial abordar la adaptabilidad de los cultivos al clima y las condiciones del suelo de la región. La diversificación de cultivos y la rotación pueden ser estrategias clave para maximizar la productividad a lo largo del tiempo.

Prácticas de Siembra y Cultivo:

Detallar las prácticas de siembra implica hablar sobre la profundidad y densidad de siembra, así como la selección de variedades que se adapten a las condiciones locales. Explorar las técnicas de cultivo utilizadas, como la fertilización, el riego y el control de plagas y enfermedades, permitirá comprender cómo estas prácticas influyen en la salud y rendimiento del cultivo.

Manejo del Suelo:

El manejo sostenible del suelo es esencial para la productividad a largo plazo. Discutir estrategias para conservar la estructura del suelo, la adición de nutrientes mediante prácticas como la rotación de cultivos, y la implementación de técnicas de labranza mínima contribuirá a una comprensión más completa de cómo se aborda este aspecto clave.

Uso Eficiente del Agua:

El uso eficiente del agua es crucial, especialmente en áreas propensas a la escasez hídrica. Al hablar de este punto, se deben explorar prácticas de riego eficientes, como el riego por goteo o el riego programado. También es importante discutir estrategias para conservar el agua, como la captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Tecnología Agrícola:

La integración de tecnologías agrícolas modernas puede revolucionar la productividad. Al discutir este punto, se pueden explorar herramientas como la agricultura de precisión, que utiliza tecnologías como el monitoreo satelital y los sensores para optimizar el uso de insumos y mejorar la toma de decisiones agrícolas.

Clima y Factores Ambientales:

Abordar el impacto del clima y otros factores ambientales es esencial para entender las condiciones en las que se desarrolla el cultivo. Discutir las variaciones estacionales, eventos climáticos extremos y estrategias para mitigar riesgos relacionados con el clima proporcionará una visión más completa de este aspecto crucial.

Variedades Resistentes:

Al hablar sobre variedades resistentes, es importante explicar cómo la selección de cultivos genéticamente adaptados a las condiciones locales y resistentes a enfermedades específicas contribuye a la productividad. La diversificación de variedades puede ser una estrategia efectiva para minimizar riesgos asociados con enfermedades y plagas.

Rotación de Cultivos:

Explorar la rotación de cultivos como una práctica agrícola fundamental implica hablar sobre los beneficios para la salud del suelo, la reducción de la presencia de plagas y la mejora de los rendimientos agrícolas a lo largo del tiempo. Se puede discutir cómo esta estrategia contribuye a mantener la sostenibilidad del sistema de cultivo.

Eficiencia en el Uso de Insumos:

Al abordar la eficiencia en el uso de insumos, se pueden discutir estrategias para optimizar la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Hablar sobre prácticas como la dosificación precisa y la adopción de métodos de control biológico contribuirá a minimizar los impactos ambientales y los costos asociados.

Capacitación y Desarrollo Rural:

La capacitación continua de los agricultores en técnicas agrícolas modernas y el desarrollo rural son aspectos esenciales para impulsar la productividad. Al hablar de este punto, se pueden explorar programas de capacitación, la importancia de la educación agrícola y cómo el desarrollo de infraestructura en áreas rurales puede mejorar el acceso a recursos esenciales para el cultivo.

2.3. Marco conceptual

Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos

- Capacidad de bombeo: Determinar la capacidad adecuada del sistema de bombeo para satisfacer la demanda de agua requerida por los cultivos de café en el distrito de Villa Rica.

- Eficiencia energética: Garantizar que el sistema de bombeo aproveche de manera eficiente la energía generada por los paneles fotovoltaicos para maximizar el suministro de agua.
- Almacenamiento de energía: Evaluar la necesidad de incorporar sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para garantizar un suministro constante de agua incluso en momentos de poca radiación solar.
- Mantenimiento y durabilidad: Considerar la vida útil de los paneles solares, las bombas de agua y otros componentes del sistema, así como los requisitos de mantenimiento para garantizar un funcionamiento óptimo a largo plazo.

Productividad del cultivo

- Producción de café: Esta dimensión se refiere a la cantidad de café cosechado por unidad de superficie o volumen. Al mejorar el suministro de agua mediante el sistema de bombeo solar, se proporciona una cantidad adecuada de agua para el riego de los cultivos, lo que puede incrementar la producción de café al favorecer un crecimiento saludable de las plantas, una mayor floración y una mejor formación de frutos.
- Calidad del café: La dimensión de calidad se refiere a los atributos sensoriales y físicos del café, como aroma, sabor, acidez, cuerpo y uniformidad. El suministro adecuado de agua mediante el sistema de bombeo fotovoltaico puede contribuir a mantener una humedad óptima en el suelo y evitar situaciones de estrés hídrico, lo que puede tener un impacto positivo en la calidad del café cosechado.
- Eficiencia en el uso de recursos: Esta dimensión se relaciona con la optimización de los recursos utilizados en el cultivo de café, como agua y energía. Al utilizar un sistema de bombeo alimentado por energía solar, se reduce la dependencia de combustibles fósiles y se aprovecha una fuente de energía renovable y limpia. Esto no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede reducir los costos

operativos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, aumentando la productividad de manera más sostenible.

2.4. Definición de términos básicos

- **Paneles fotovoltaicos:** Son dispositivos que convierten la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, utilizando materiales semiconductores como el silicio para generar electricidad.
- **Eficiencia energética:** Es la relación entre la energía de salida útil y la energía de entrada en un sistema. En el contexto de los paneles fotovoltaicos, se refiere a la capacidad del sistema para aprovechar al máximo la energía solar y convertirla en electricidad de manera eficiente.
- **Sistema de bombeo:** Es un conjunto de componentes y dispositivos que se utilizan para mover fluidos, en este caso, agua. Incluye la bomba de agua, tuberías, válvulas y otros elementos necesarios para el transporte y distribución del agua.
- **Inversor:** Es un dispositivo que convierte la corriente continua (generada por los paneles fotovoltaicos) en corriente alterna, que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los sistemas eléctricos convencionales.
- **Controlador de carga:** Es un dispositivo que regula el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías de almacenamiento, asegurando una carga y descarga adecuadas para prolongar la vida útil de las baterías y optimizar el rendimiento del sistema.
- **Baterías:** Son dispositivos de almacenamiento de energía que permiten almacenar la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos para su uso posterior, especialmente durante periodos sin radiación solar suficiente.
- **Regulador de tensión:** Es un componente que mantiene la tensión de salida de los paneles fotovoltaicos y las baterías en un nivel constante y seguro para proteger los equipos y garantizar un funcionamiento estable del sistema.
- **Diseño de sistemas eléctricos:** Es el proceso de planificar y configurar un sistema eléctrico, teniendo en cuenta los requisitos específicos del proyecto, como la capacidad de generación, el consumo de energía, los equipos necesarios y la distribución eficiente de la electricidad.

- Cálculos de carga: Son los cálculos que se realizan para determinar la demanda de energía del sistema, considerando la potencia requerida para el funcionamiento de la bomba de agua, así como otros dispositivos y equipos eléctricos necesarios en el sistema de bombeo.
- Mantenimiento preventivo: Es el conjunto de actividades periódicas que se realizan para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos, como inspecciones, limpieza, ajustes y reemplazo de componentes según sea necesario, con el objetivo de evitar fallas y maximizar la vida útil del sistema.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis General

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

Hipótesis Especifica

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.

3.1.1. Operacionalización de variable

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos	Es una solución tecnológica innovadora que utiliza la energía solar captada por paneles fotovoltaicos para impulsar el funcionamiento de una bomba de agua. Este sistema aprovecha la radiación solar para generar energía eléctrica limpia y renovable, permitiendo un suministro constante y eficiente de agua para el riego de los cultivos de café.	Capacidad de bombeo	Volumen de agua suministrado por hora
		Eficiencia energética	Relación entre energía solar generada y agua bombeada
		Almacenamiento de energía	Autonomía del sistema de bombeo
		Mantenimiento y durabilidad	Tiempo promedio entre fallas
Productividad del cultivo	Se refiere a la capacidad de un sistema eléctrico para mantener la frecuencia y la tensión dentro de los límites establecidos aun cuando se presentan perturbaciones o variación en la demanda energética.	Producción de café	Rendimiento de café por hectárea
		Calidad del café	Puntuación de calidad del café
		Eficiencia en el uso de recursos	Consumo de energía no renovable

Fuente: Elaboración propia del autor

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La investigación descriptiva se utilizaría para recopilar y analizar datos sobre las características del cultivo de café, las necesidades de agua, la radiación solar, el consumo energético, entre otros factores relevantes. Esta información permitiría describir la situación actual y entender las variables involucradas en la productividad del cultivo.[15]

Por otro lado, la investigación tecnológica se enfocaría en el diseño y desarrollo del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos. Aquí se realizarían estudios de viabilidad técnica y económica, se seleccionarían los componentes adecuados, se realizarían pruebas y ajustes en el sistema, y se buscarían soluciones innovadoras para optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema de bombeo.

Ambos enfoques se complementarían, ya que la investigación descriptiva proporcionaría la base de datos necesaria para el diseño y desarrollo de la solución tecnológica. A su vez, la investigación tecnológica permitiría implementar y evaluar en la práctica las mejoras propuestas, respaldadas por los datos recopilados en la investigación descriptiva.

El diseño preexperimental, en este diseño se busca evaluar el impacto del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos en la productividad del cultivo de café mediante la comparación de datos antes y después de la implementación del sistema.

En este caso, se recopilarían datos sobre la productividad del cultivo de café en la zona de estudio antes de la instalación del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos. Estos datos podrían incluir información sobre rendimiento de la cosecha, calidad del café, consumo de agua y otros indicadores relevantes.

4.2. Método de investigación

El método será hipotético – deductivo este método implica formular una hipótesis o suposición inicial sobre la relación entre el uso de paneles fotovoltaicos en el sistema de bombeo y la mejora en la productividad del cultivo de café.[15]

Luego, se diseñarían experimentos o pruebas para poner a prueba la hipótesis. Esto podría incluir la instalación de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos en una muestra representativa de cultivos de café en el distrito de Villa Rica. Se medirían y registrarían datos relacionados con la producción de café, el consumo de agua, la radiación solar y otros factores relevantes.

4.3. Población y muestra

Población

La población estará conformada por 22 productores de café que pertenecen a una cooperativa Agroindustrial.

Muestra

Para el cálculo de la muestra se usó de la fórmula para poblaciones finitas.

$$n_0 = \frac{NZ^2 pq}{e^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

Donde:

N= Población (22)

Z= Valor de la tabla Normal Estándar según el nivel de confianza (1.96)

p= Probabilidad de éxitos (0.9)

q= Probabilidad de fracasos (0.1)

e= Error relativo (0.05)

n₀= Tamaño de muestra inicial

Realizamos la comprobación de la regla

$$\frac{n_0}{N} > 0.05 \rightarrow \frac{19.1}{22} > 0.05 \rightarrow 0.87 > 0.05$$

Ya que la regla se cumple se debe realiza el ajuste a través de la siguiente formula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = \frac{19.1}{1 + \frac{19.1}{22}} = 10$$

La muestra estará conformada por 10 productores de café que pertenecen a una cooperativa Agroindustrial.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

La investigación se llevará a cabo en el distrito de Villa Rica en la provincia de Oxapampa departamento de Pasco y tendrá una duración de 6 meses teniendo su inicio de junio hasta noviembre.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para recolectar la información se establecerá una ficha de observación donde se registrará la producción de café, calidad del café y eficiencia en el uso de recursos, empleando técnicas como la observación directa la cual es una técnica valiosa para recopilar información sobre el comportamiento de los agricultores, las condiciones del cultivo y el sistema de bombeo. Los investigadores pueden observar directamente el funcionamiento del sistema, registrar el uso de agua, la radiación solar y otros factores relevantes para evaluar su impacto en la productividad del cultivo; y el análisis documental en el cual implica revisar y analizar documentos existentes, como informes técnicos, estudios previos, registros de producción de café, datos meteorológicos, entre otros. Estos documentos pueden proporcionar información histórica y contextual sobre el cultivo de café en la zona de estudio y apoyar el diseño del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El análisis y procesamiento de datos se realizará utilizando la ficha de observación que registra la producción de café, calidad del café y eficiencia en el uso de recursos en el pre test y post test. A continuación, se describe el enfoque de análisis y procesamiento de datos:

- Organización de los datos: Los datos recopilados en las fichas de observación se organizarán de manera sistemática, asegurando que estén debidamente etiquetados y clasificados. Se registrarán los datos relevantes para cada variable, como la cantidad de producción de café, las características de calidad del café y los recursos utilizados.
- Comparación de los datos: Se compararán los datos del pre test y post test para evaluar los cambios ocurridos en la producción de café, calidad del café y eficiencia en el uso de recursos después de la implementación del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos. Se utilizarán técnicas estadísticas apropiadas, como pruebas de hipótesis o análisis de varianza, para determinar si existen diferencias significativas entre los dos momentos de medición.
- Análisis de tendencias: Se analizarán las tendencias en los datos a lo largo del tiempo para identificar patrones y variaciones. Esto puede ayudar a comprender cómo el sistema de bombeo influye en la producción de café y la eficiencia en el uso de recursos a medida que transcurre el tiempo.
- Interpretación de los resultados: Los resultados obtenidos se interpretarán de manera significativa y relevante para el objetivo del estudio. Se analizarán las implicaciones de los hallazgos en relación con la optimización de la productividad del cultivo de café mediante el uso del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos. Se pueden establecer conclusiones sobre la efectividad del sistema y su impacto en la calidad del café y la eficiencia en el uso de recursos

4.7. Aspectos éticos en investigación

Se deben considerar aspectos éticos fundamentales. Se debe obtener el consentimiento informado de los participantes antes de recopilar cualquier dato, asegurando que comprendan plenamente los objetivos del estudio, los procedimientos involucrados y los posibles riesgos y beneficios. También se debe garantizar la confidencialidad y privacidad de los datos recopilados, utilizando medidas de protección adecuadas. Además, se debe asegurar que el estudio cumpla con los principios éticos y normas establecidas por comités de ética y regulaciones nacionales e internacionales, evitando cualquier forma de manipulación o sesgo en la recopilación y análisis de datos. Es fundamental mantener la integridad científica y el respeto por los derechos y bienestar de los participantes durante todo el proceso de investigación.

V. RESULTADOS

5.1. Características Geográficas

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Villa Rica, situado en la provincia de Oxapampa, en el departamento de Pasco (ver Figura 2), a una altitud de 1,495 metros sobre el nivel del mar, con una latitud sur de 10°44'11" y una longitud oeste de 75°16'20" (datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática en 2017).

El departamento de Pasco presenta una complejidad geográfica y condiciones climáticas particulares, evidenciadas por la gran disparidad entre la zona minera de Cerro de Pasco, ubicada a 4,342 metros sobre el nivel del mar, y Ciudad Constitución, que se encuentra a 250 metros sobre el nivel del mar (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). En medio de estas extremidades regionales se encuentra el distrito de Villa Rica, que sirve como punto de conexión comercial entre la selva baja de Pasco y la carretera central.

Esta ubicación estratégica le permite ofrecer una amplia variedad de productos, entre los cuales se destaca el café, destinado principalmente a la exportación. Según datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la temperatura promedio anual en el departamento de Pasco en 2018 fue de 5.2°C, mientras que la temperatura máxima promedio anual alcanzó los 11.0°C. La precipitación total anual para el mismo año fue de 1,159.1 milímetros.

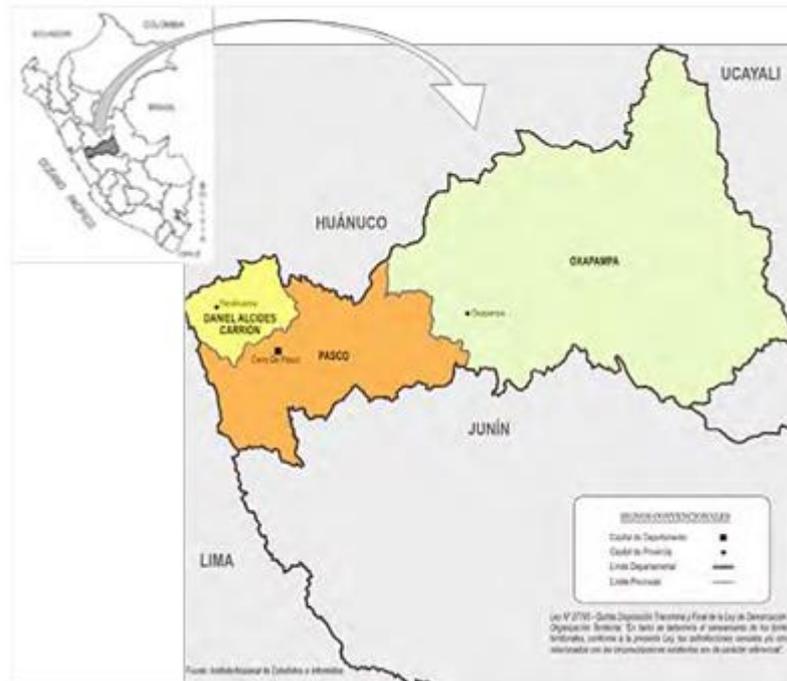


Figura 2. Mapa del departamento de Pasco

Basándonos en las observaciones realizadas en el terreno, concluimos que, en Villa Rica, el tipo de cultivo predominante es extensivo, destacándose el policultivo tradicional y el cultivo orgánico. En el policultivo tradicional, se integran los cafetos al bosque, ubicándolos a la sombra de ramas y hojas generadas por la tala previa de árboles para permitir el cultivo. A pesar de esta tala, la práctica de intercalar el café con otras plantas, muchas veces beneficiosas para el sistema ecológico, resulta en una amplia diversidad de especies útiles, en comparación con los métodos de monocultivo convencionales.

En cuanto al cultivo orgánico, se emplean métodos de producción que conservan y mejoran la fertilidad del suelo, priorizando el uso adecuado de la energía y fomentando la biodiversidad vegetal y animal. Este enfoque de cultivo requiere una gestión integrada de plantaciones mediante el uso de técnicas e insumos respetuosos con el medio ambiente. El producto resultante, el café orgánico, debe contar con certificación de organizaciones debidamente acreditadas para su comercialización bajo sus sellos correspondientes.

En el desarrollo de la investigación, la dimensión "Cultivo", como primer eslabón en la cadena productiva del café, se define mediante subdimensiones que

incluyen las variedades de café utilizadas (material genético) y las prácticas agrícolas. Estos elementos son fundamentales para obtener granos de calidad y un rendimiento aceptable. Sin embargo, no son los únicos factores que influyen en la formación de los frutos.

La figura 3 revela que el territorio está mayormente dedicado al cultivo de la variedad Catimor (54% en promedio), destacándose el Catimor T8667 y el Costa Rica 95 (CR95). Ambas variedades fueron desarrolladas a partir de cruces entre Caturra e Híbrido de Timor, un híbrido natural entre *C. arabica* y *C. canephora* con fenotipo arábico.

La figura 3 también refleja resultados opuestos a lo que localmente se conoce como 'catimorización' de los cultivos. Muchos agricultores en la zona de estudio han optado por retirarse del cultivo de catimores, reemplazando las plantaciones con variedades de mayor valor comercial.

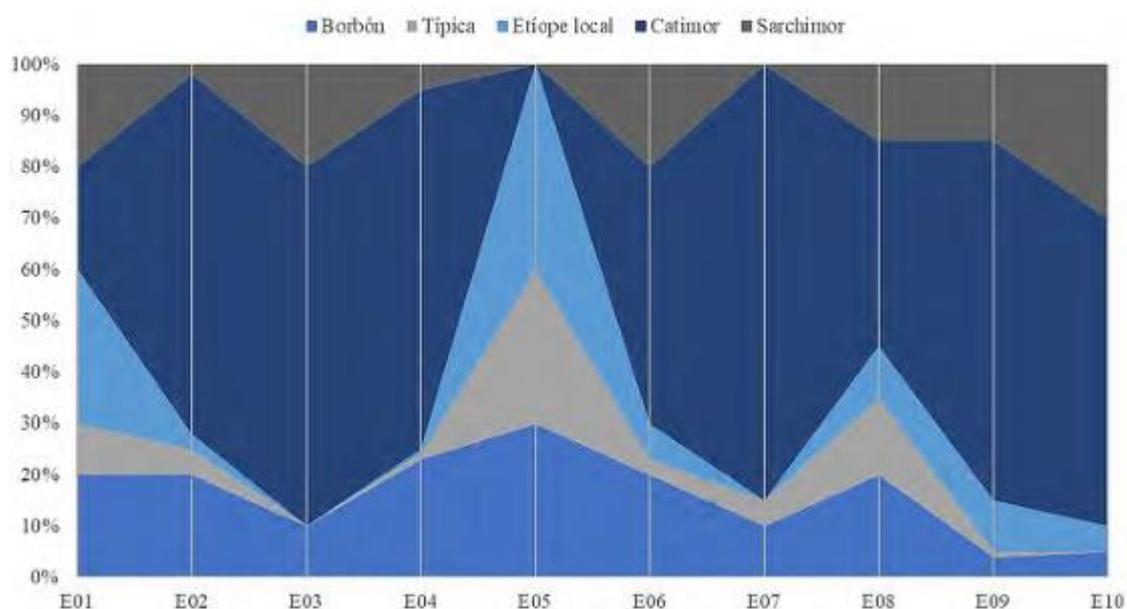


Figura 3. Variedades de café cultivadas en las fincas. Villa Rica

El Plan Nacional de Renovación de Cafetales (PNRC), implementado por el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) como respuesta a la crisis generada por la roya amarilla, tuvo como estrategia la selección de material genético adquirido por los caficultores nacionales mediante créditos facilitados por Agrobanco. En el marco del PNRC, se consideró que las variedades de

catimores presentaban resistencia y/o tolerancia a la roya amarilla del cafeto, así como una calidad de taza calificada como buena/aceptable/estándar. Las semillas de estas variedades fueron debidamente registradas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

La elección de la variedad de café a cultivar se basa en características agronómicas esenciales que deben estar en sintonía con los factores ambientales de la finca, el sistema productivo, los rendimientos esperados y el acceso a los mercados. En esta sección, se toman en consideración las características principales definidas en el catálogo de variedades de Coffea arábica de la World Coffee Research. En el caso de la muestra de estudio, las características agronómicas más valoradas al momento de seleccionar una variedad de café son el 'Potencial de calidad de taza' y el 'Potencial de rendimiento', mientras que la menos valorada es el 'Número de años requeridos para la primera cosecha', según se ilustra en la figura 4.



Figura 4. Características agronómicas consideradas al momento de elegir una variedad de café

5.2. Sistema de bombeo

Cálculo de necesidad de agua

La demanda hídrica de la planta se define como la pérdida neta de agua por evapotranspiración, considerando la cantidad recibida a través de la precipitación. El sistema debe ser capaz de operar de manera efectiva incluso en períodos de escasa lluvia, por lo que se realiza el cálculo asumiendo una precipitación (P) igual a cero. Posteriormente, se considera una eficiencia de riego del 90%, un valor común en el riego por goteo según muestras y otros

estudios sobre sistemas de riego. Estos parámetros se introducen en la Ecuación 2 y la Ecuación 3.

$$E_{ic} = 3,63 \frac{mm}{día} \times 0,60 = 2,18 \frac{mm}{día} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$N_n = 2,18 \frac{mm}{día} - 75\% \times 0 \frac{mm}{día} = 2,18 \frac{mm}{día} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$N_b = 90\% \times 2,18 \frac{mm}{día} = 2,4 \frac{mm}{día} \quad \text{Ecuación 3}$$

Para transformar la demanda hídrica calculada en un caudal resultante específico para el área examinada, se lleva a cabo la conversión de acuerdo con la Ecuación 4. Este proceso implica la multiplicación por una superficie de media hectárea y la posterior división por la duración del riego, establecida en 3 horas.

$$Q = \frac{(100 \times 50) m^2}{3h} \times 2,4 \frac{mm}{día} = 4 \frac{m^3}{h} \quad \text{Ecuación 4}$$

Sistema Hidráulico

Con el caudal de agua calculado, se estima un diámetro de tubería adecuado para conseguir una velocidad recomendada en la Tabla 2. valores de 1 y 2 pulgadas se reemplaza en la Ecuación 5 para verificar cuál es más adecuado. Se toma entonces como adecuado el diámetro de 1 pulgada.

Tabla 2. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		pies/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5-1	0,15-0,30
	Entrada de bomba	1-3	0,3-0,9
	Salida de bomba	4-10	1,2-3
	Línea de conducción	4-8	1,2-2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2-0,5	0,06-0,15
	Salida de bomba	0,5-2	0,15-0,6
Vapor de agua		30-50	9-15
Aire o gas		30-100	9-30

Fuente: R. Yarleque y E. Flores (2019)

$$v = \frac{4 \frac{m^3}{h} \frac{h}{3600s}}{\pi \frac{\left(\frac{1in \cdot 0,0254m}{in} \right)^2}{4}} = 2,2 \frac{m}{s}$$

$$v = \frac{4 \frac{m^3}{h} \frac{h}{3600s}}{\pi \frac{\left(\frac{2p1g \cdot 0,0254m}{in} \right)^2}{4}} = 0,55 \frac{m}{s}$$

Ecuación 5

A continuación, se procede al cálculo de la longitud equivalente, compuesta por tres elementos: la longitud de la tubería troncal de PVC de 1 pulgada, que es de 100 metros; la longitud de la ramificación de PE de ½ pulgada, que asciende a 25 metros; y la longitud equivalente generada por los accesorios, obtenida de la Tabla 3. El agujero del gotero se modela como si fuera una fricción de válvula, equivalente a 55 pies o 16.7 metros. Las reducciones en tuberías de 1 pulgada e incluso más pequeñas resultan en una longitud adicional de 1 pie, equivalente a aproximadamente 0.3 metros (consultar Tabla 4). Sumando estos elementos, la longitud equivalente total es de 142 metros.

Con la longitud equivalente determinada, se procede al cálculo de la pérdida por fricción en la tubería, para lo cual es necesario calcular el valor del factor de fricción mediante el diagrama de Moody. Este proceso requiere el cálculo del número de Reynolds, expresado como $Re=(vd)/(\mu\rho)$, que en el caso del tubo liso de 1 pulgada es igual a 55,000. Así, el Diagrama de Moody muestra un factor de fricción aproximado de 0.02 (ver Figura 5).

Se suma a la presión (o altura) de la tubería la presión (o altura) necesaria para superar la elevación del agua desde el reservorio hasta el nivel de la siembra. Este valor representa la presión requerida por la bomba, la cual, junto con el caudal y los factores ambientales, son los criterios fundamentales en la selección de la bomba del catálogo.

Con estos aspectos en consideración, la elección de la bomba se llevó a cabo mediante la revisión de al menos dos tipos de bombas en el catálogo que cumplieran con el rango necesario de potencia, flujo y altura hidráulica. Posteriormente, se seleccionó aquella que se ajustara a criterios como conveniencia logística, inversión inicial, mantenimiento y garantías.

La fuente principal de agua proviene de una represa con aproximadamente 50 metros de diámetro y 3 metros de profundidad, que cuenta con reservorios desde donde se realizará el bombeo hacia la red hídrica.

5.3. Sistema de paneles Solares

Una vez que se ha elegido la bomba, es posible determinar el requisito de potencia en estado estable en las condiciones de diseño. A partir de este dato, se obtiene la energía necesaria para operar la bomba durante un día, según lo establecido en la Ecuación 6.

$$E_b = Pot_b \cdot t_R \quad \text{Ecuación 6}$$

En dicha ecuación, E_b representa la energía hidráulica requerida por la bomba en un día, Pot_b es la potencia nominal de la bomba, y t_R es el tiempo planificado para el riego en un día. La energía suministrada a la bomba está relacionada con la energía hidráulica a través de la eficiencia, como se ilustra en la Ecuación 7.

$$E_e = \frac{E_h}{EF_{mb}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde E_e representa la energía eléctrica, E_h es la energía hidráulica y EF_{mb} es la eficiencia de la bomba. En esta situación específica, la potencia nominal de la bomba se refiere a la potencia de entrada, la cual, según el catálogo, ya está

vinculada con las condiciones hidráulicas. Por lo tanto, se comprende que la eficiencia ya está incluida en los cálculos eléctricos.

A continuación, se procede a dimensionar los elementos solares fotovoltaicos, los cuales tendrán la tarea de suministrar energía a la bomba. El potencial de generación fotovoltaica a lo largo del día y del año oscila entre 5 y 6 kWh/m². Por ende, se tomará el promedio, que es de 5.5 kWh/m², para estimar la incidencia de la potencia solar en el sistema.

Selección de elementos de sistema de paneles solares

La elección de los componentes del sistema de paneles solares se lleva a cabo considerando los cálculos relacionados con la demanda de agua, el sistema hidráulico, la capacidad necesaria y la energía proporcionada por el panel solar elegido. En este contexto, se deben tener en cuenta las condiciones técnico-económicas. Las condiciones técnicas abordan la capacidad requerida por el sistema a seleccionar. Con base en estos criterios, se optó por el sistema que consta de:

- Paneles solares
- Baterías o almacenadores
- Inversor
- Regulador
- Estructura para soporte de kit solar

Considerando los cálculos previamente efectuados y la elección de la bomba de 1 HP, se llevó a cabo una investigación exhaustiva para identificar las tecnologías más completas destinadas al sistema de energía fotovoltaica. Esto incluye paneles solares, inversores, baterías y otros equipos esenciales para la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar. A través de esta investigación, se identificaron las tecnologías que se presentan en las imágenes siguientes:

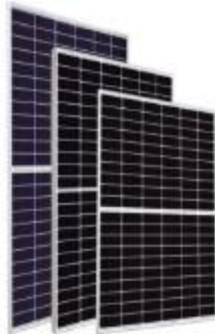


Figura 6. Panel para electrificación fotovoltaica

Las necesidades mostradas por los cálculos evidencian que se necesitan 2 paneles de 330W para cumplir con la capacidad necesitada por la bomba. En la Figura 6 se evidencia una marca sugerida para la implementación del sistema de alimentación eléctrica mediante paneles solares. Así mismo, en la Figura 7 se muestran las baterías que en este caso serían 2. Estas baterías se utilizan en caso de que el día se encuentre con poca incidencia solar y el panel no pueda captar la energía necesaria (respaldo energético).



Figura 7. Batería para almacenamiento eléctrico



Figura 8. Inversor para el Kit solar



Figura 9. Regulador de tensión

Teniendo en cuenta las condiciones de potencia de la bomba se selecciona el sistema fotovoltaico y de baterías con base en los elementos mostrados en la Tabla 5. Componentes eléctricos de base

Elemento eléctrico			Fuente
Panel solar $Pot_p = 330W$ $\eta_p = 19,6\%$ $V_p = 36V$	$I_p = 9,18A$ $A_p = 1,69m^2$ $M_p = 19,2kg$	$f_p = 95\%$	(Canadian Solar, s.f.)
Batería eléctrica $V_B = 12V$ $I_B = 120Ah$	$A_p = 1,69m^2$	$M_p = 19,2kg$	(MTEK, s.f.)
Motobomba $Pot_B = 750W$	$V_B = 230V$		(Hidraulica Alsina SA, 2015)

Fuente: Elaboración propia del autor

A raíz de lo mencionado se reemplazan los parámetros de paneles y baterías en las siguientes ecuaciones.

$$E_b = 0,75kW \times 3h = 2,3kWh \quad \text{Ecuación 8}$$

$$E_{cu} = 95\% \times 19,6\% \times 5,5 \frac{kWh}{m^2} \times 1,68m^2 = 1,73kWh \quad \text{Ecuación 9}$$

$$n_p = \frac{2,3kWh}{1,73kWh} = 1,3 \approx 2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$E_c = 95\% \times 19,6\% \times 5,5 \frac{kWh}{m^2} \times 1,68m^2 \times 2 = 3,45kWh \quad \text{Ecuación 11}$$

$$I_c = \frac{3450kWh}{36V} = 96Ah \quad \text{Ecuación 12}$$

$$n_{BMin} = \frac{96Ah}{120Ah} = 0,79 \approx 1 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$0,7 \times 36V = 25,7V \approx V_{BA} = 24V; n_{BA} = \frac{24V}{12V} = 2 \quad \text{Ecuación 14}$$

Con base en lo expuesto, en la aplicación práctica se concluye que para abastecer la bomba de 750W durante 3 horas diarias, resulta adecuado contar con 2 paneles de 330W y 2 baterías de 120Ah. En la Tabla 6 se presenta la inversión inicial necesaria para la instalación y operación de los paneles conectados a la bomba, utilizando valores obtenidos de HomeCenter, MercadoLibre, MTEK y Canadian.

Tabla 6. Cantidad de elementos necesarios

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD
Paneles solares	c/u	2
Estructura en aluminio	c/u	1
Inversor	c/u	1
Baterías	c/u	2
Acometida eléctrica	c/u	1
Regulador de voltaje	c/u	1

Fuente: Elaboración propia del autor

Diseño final con paneles solares

La Figura 10 presenta el diseño del sistema que integra paneles solares y el sistema de riego destinado al cultivo de ñame. Este sistema incluye un reservorio de agua, que en esta situación específica adopta la forma de una presa profunda con una profundidad de 3-4 metros. Esta presa tiene la capacidad de proporcionar la cantidad necesaria de agua para el riego del cultivo sin riesgo de

agotamiento, dado que abarca una extensión considerable. Además, se elige esta área específica para la siembra con el objetivo de evitar la reducción directa del suministro de agua, y se sugiere la extracción de agua desde un pozo profundo ubicado a mayor distancia del terreno designado para el cultivo.

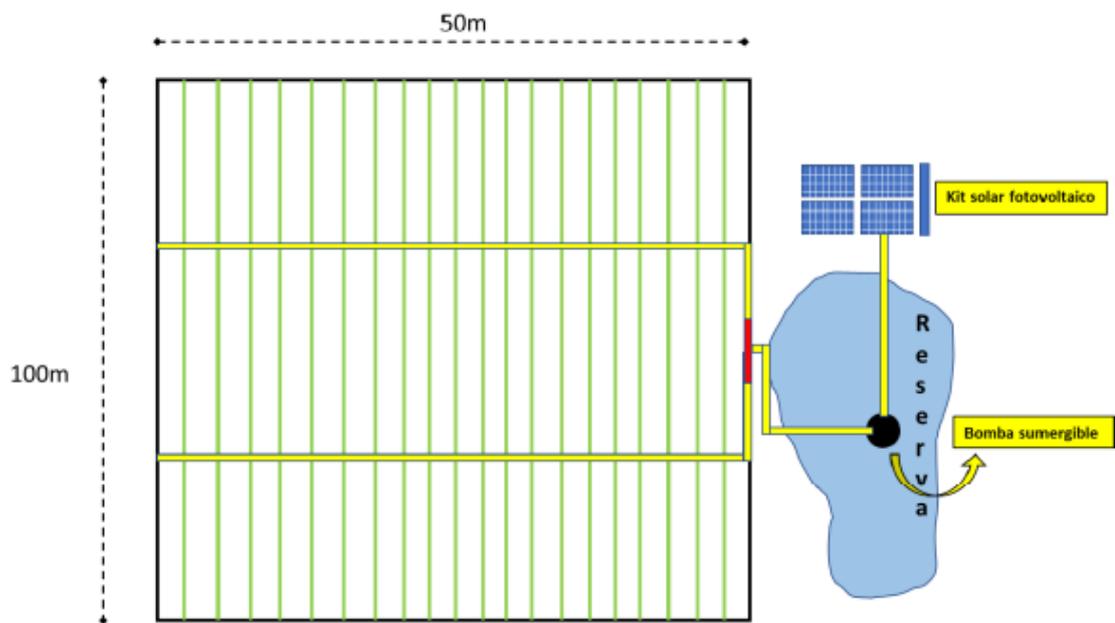


Figura 10. Esquema del sistema de riego con paneles fotovoltaicos y sistema de riego

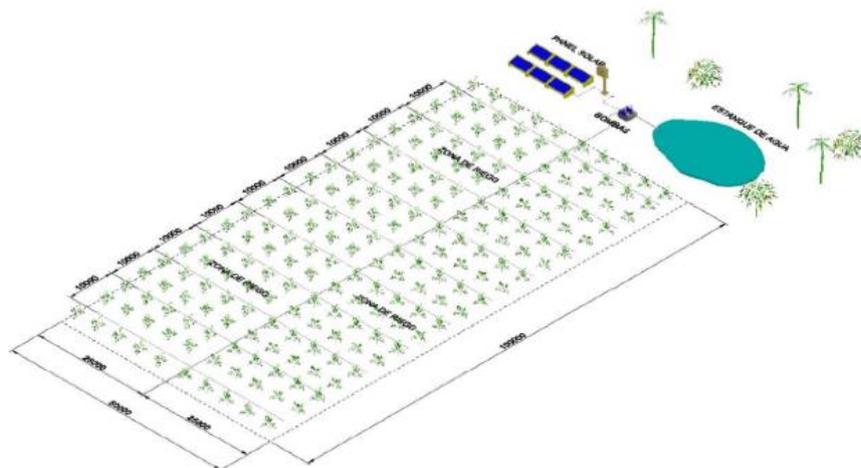


Figura 11. Diseño CAD del sistema de riego por goteo con instalación de paneles solares

5.4. Pre -Test

Según los datos obtenidos tenemos el análisis de cada una de los indicadores que responden a nuestras dimensiones.

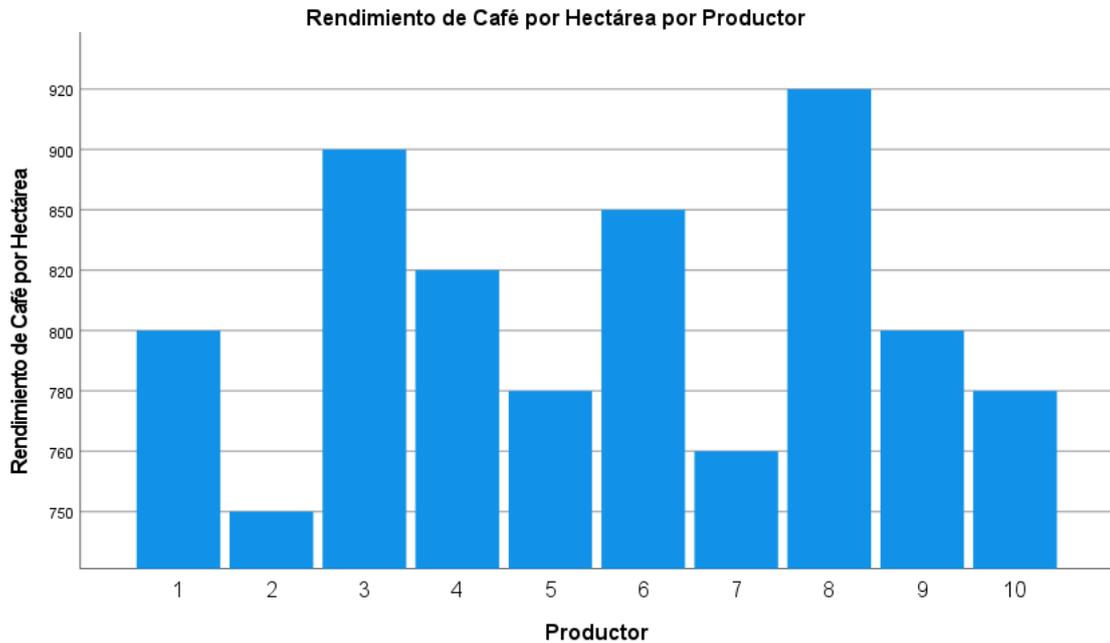


Figura 12. PRE TEST - Rendimiento de Café por Hectárea

Como se puede apreciar los 10 productores de café que fueron analizados antes de la implementación llegaron a un máximo de 920 kg por hectárea y lo mínimo alcanzado fue de 750 Kg por hectárea.

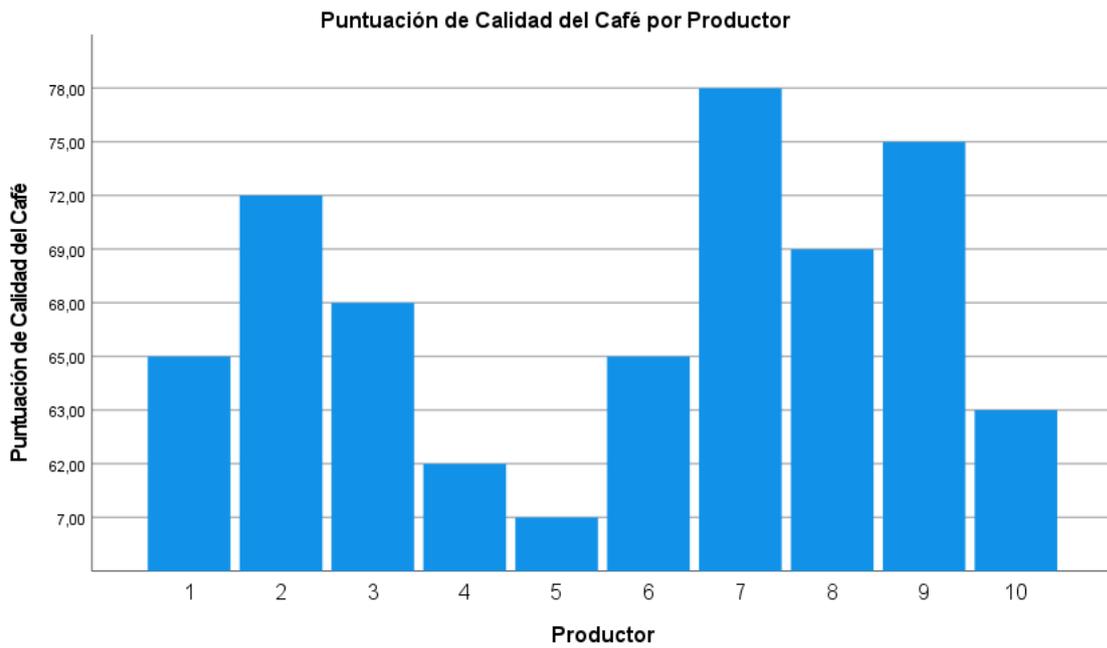


Figura 13. PRE TEST – Calidad del café

Como se puede apreciar los 10 productores de café que fueron analizados antes de la implementación llegaron a un máximo de 78 en la puntuación de calidad del café y lo mínimo alcanzado fue de 7.

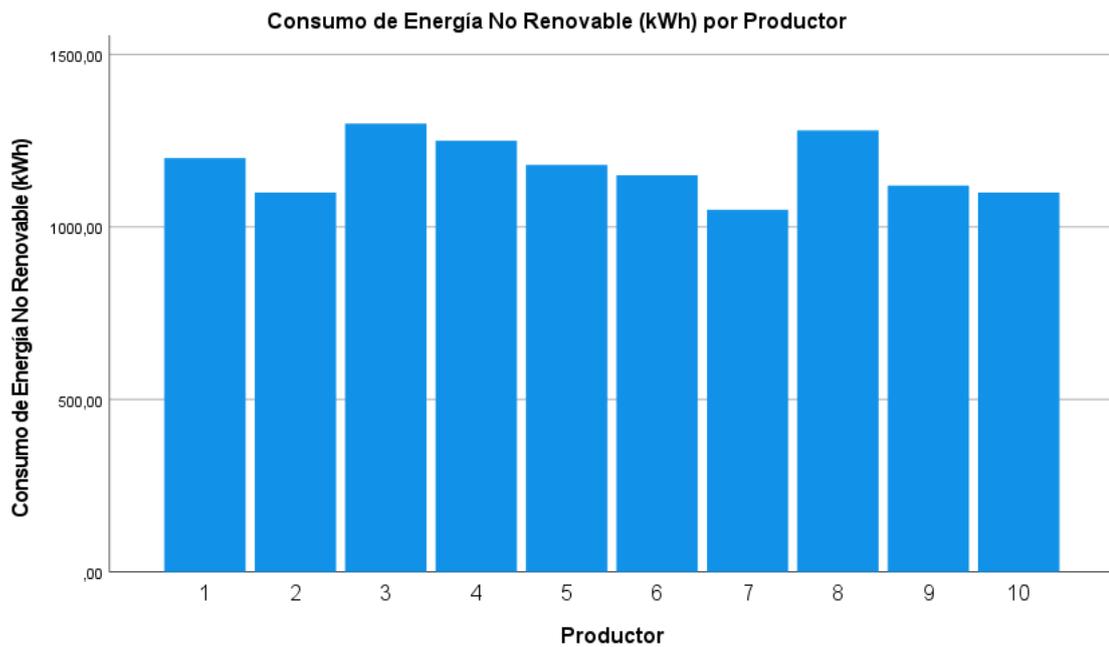


Figura 14. PRE TEST – Consumo de Energía no Renovable

Como se puede apreciar los 10 productores de café que fueron analizados antes de la implementación llegaron a un máximo de 1300 kW.h en el consumo de energía no renovable.

5.5. Post – Test

Luego de realizar la implementación del sistema de bombeo se obtuvieron los siguientes datos analizando las mismas variables.

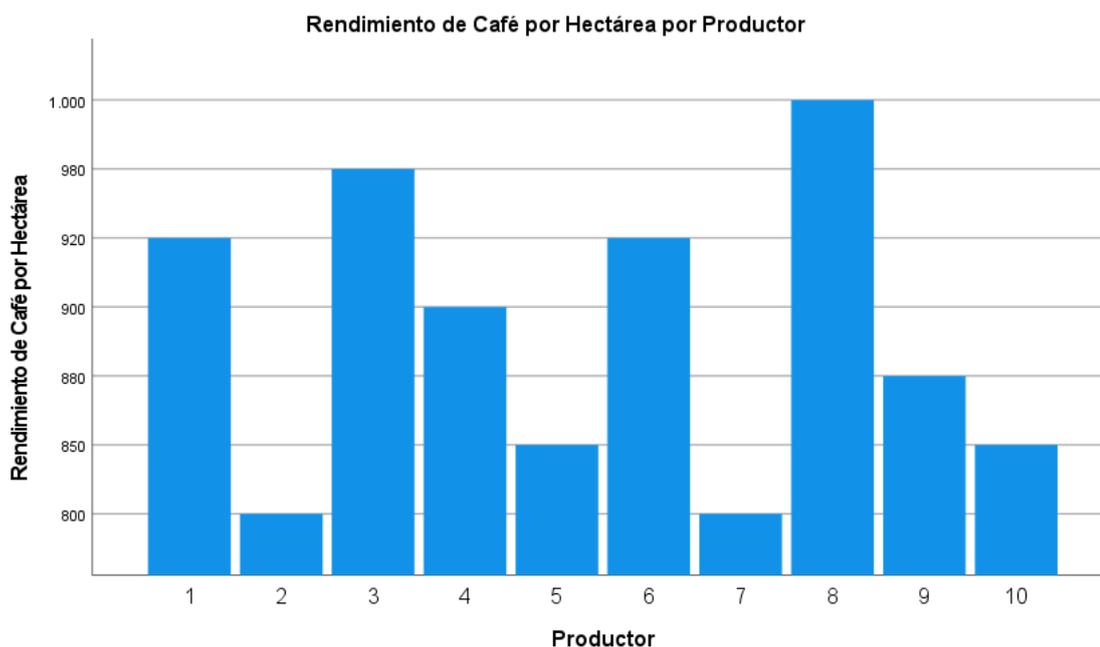


Figura 15. POST TEST - Rendimiento de Café por Hectárea

Como se puede apreciar después de la implementación del sistema de bombeo se obtuvo un rendimiento de café por hectárea máximo de 1000 Kg por año y un valor mínimo de 800 Kg por año.

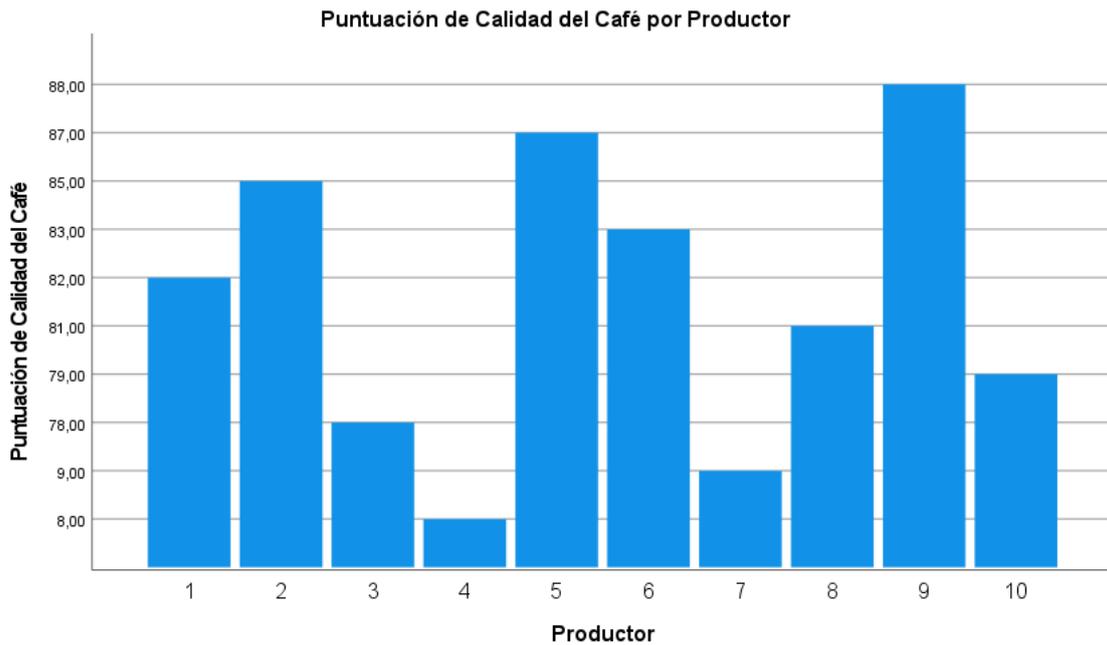


Figura 16. POST TEST – Calidad del café

Como se puede apreciar después de la implementación del sistema de bombeo se obtuvo un valor máximo de 88 en la calidad del café y un mínimo de 8.

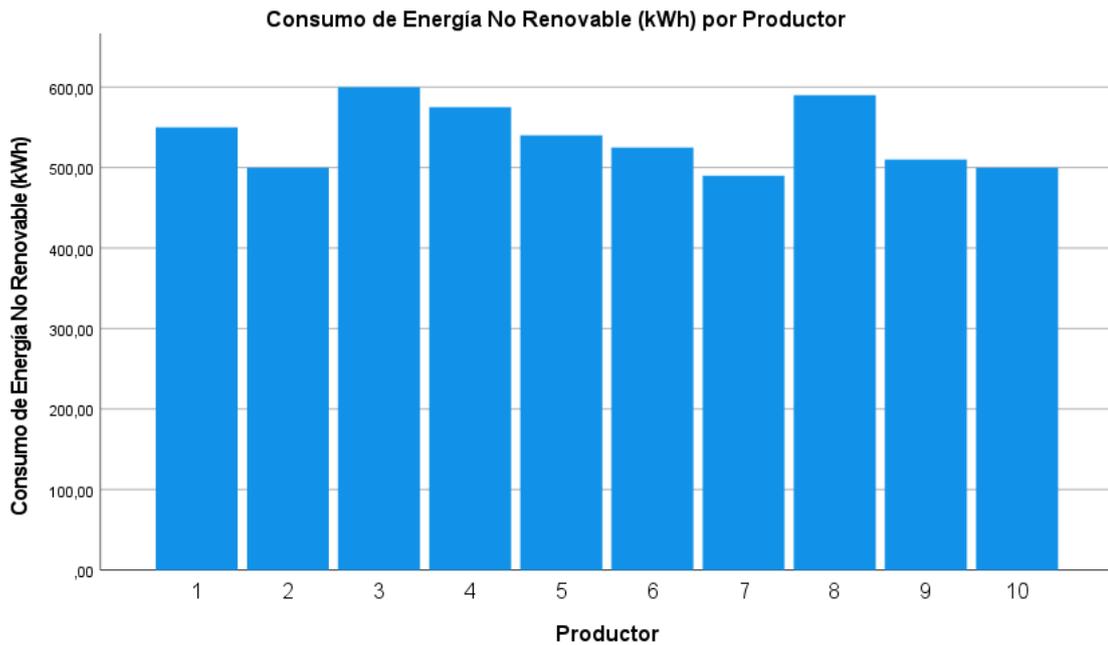


Figura 17. POST TEST – Consumo de energía no Renovable

Como se puede apreciar después de la implementación del sistema de bombeo se obtuvo un valor máximo de 600 kW.h y un mínimo de 490 kW.h.

En Resumen

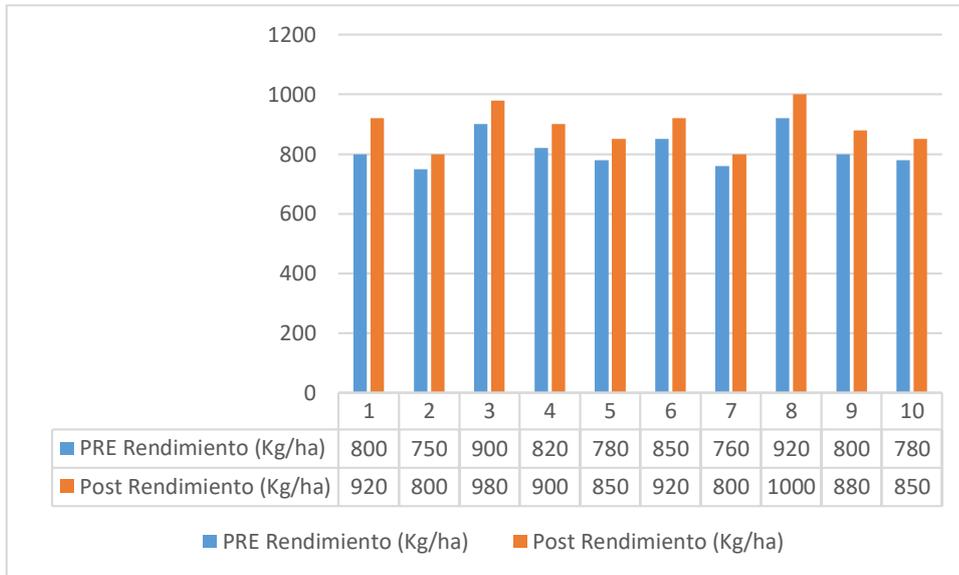


Figura 18. Comparativa Pre y Post Test del Rendimiento de Café por Hectárea (Kg/ha)

Como se puede apreciar en cada uno de los productores donde se realizó la implementación del sistema de bombeo se vio una mejora en el rendimiento de Café.

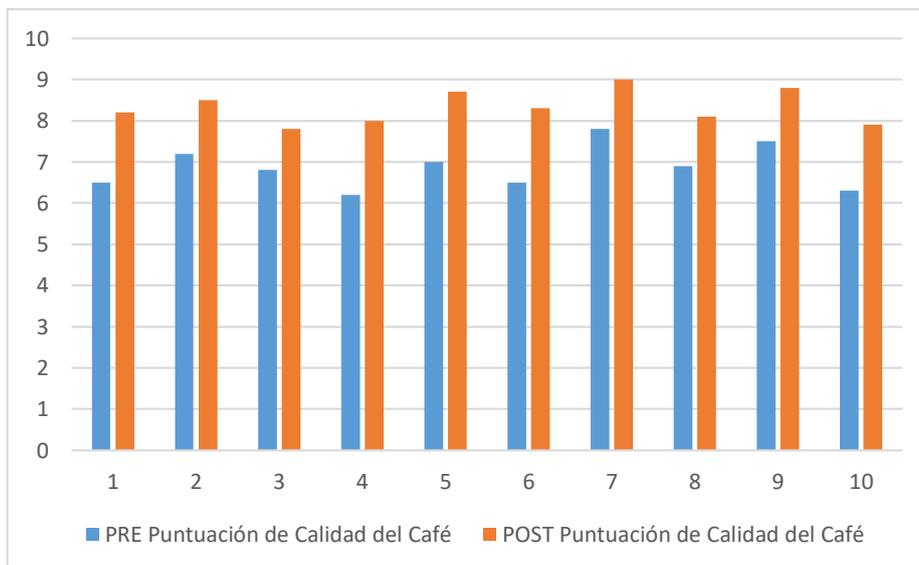


Figura 19. Comparativa Pre y Post Test de la Puntuación de la Calidad del Café

Como se puede apreciar en cada uno de los productores de café donde se implementó se vio una mejora en la calidad del café en base a la puntuación obtenida.

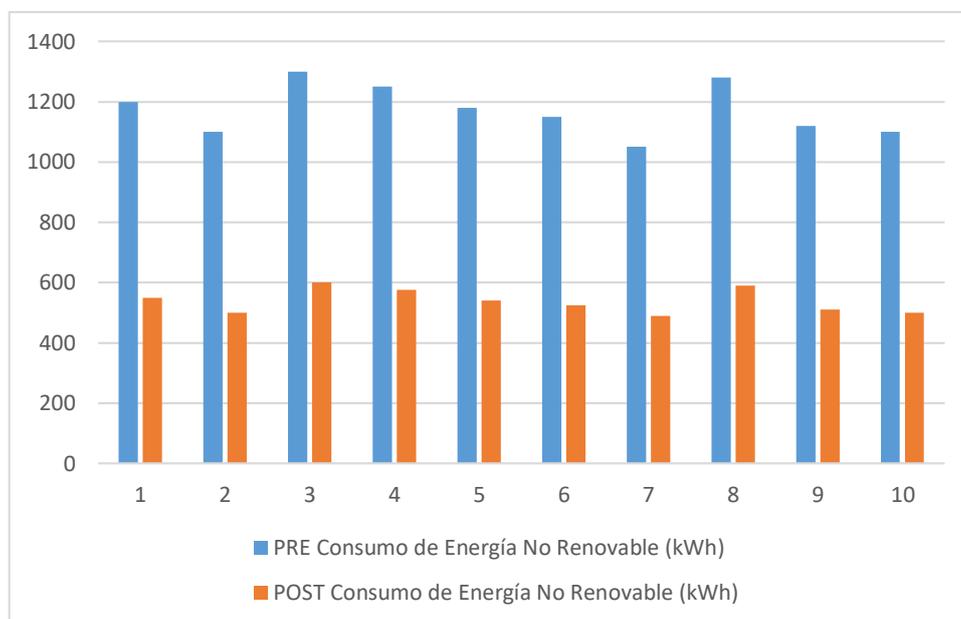


Figura 20. Comparativa Pre y Post Test del Consumo de Energía No renovable

Como se puede apreciar en cada uno de los productores donde se ha implementado se ha visto una reducción significativa en el consumo de energía no renovable.

5.6. Plan de Mantenimiento

El presente plan tiene como objetivo garantizar la eficiencia y durabilidad del sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos implementado en el cultivo de café en el Distrito de Villa Rica, Provincia de Oxapampa, Departamento de Pasco, durante el año 2023.

- **Mantenimiento Preventivo y Frecuencia:** El mantenimiento preventivo se realizará cada seis meses e incluirá inspecciones visuales, limpieza de los paneles solares, pruebas de funcionamiento y revisión de componentes. Estas actividades buscan prevenir problemas y asegurar un rendimiento óptimo del sistema.

- **Mantenimiento Correctivo y Diagnóstico:** El mantenimiento correctivo será llevado a cabo según sea necesario en respuesta a fallos o rendimiento deficiente. Se realizarán diagnósticos detallados para identificar las causas subyacentes de cualquier problema, y se implementarán reparaciones o reemplazos de componentes según lo requiera la situación.
- **Optimización y Actualizaciones:** Se llevarán a cabo ajustes en la configuración del sistema para mejorar su eficiencia operativa. Además, se considerarán mejoras tecnológicas o actualizaciones de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para mantener el sistema a la vanguardia en términos de rendimiento.
- **Registro y Documentación:** Se mantendrá un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo fechas, intervenciones realizadas y resultados obtenidos. La documentación también abarcará modificaciones o mejoras implementadas en el sistema durante el proceso de mantenimiento.
- **Capacitación y Evaluación Continua:** El personal encargado del mantenimiento recibirá capacitación regular sobre las mejores prácticas y novedades tecnológicas. Se llevarán a cabo evaluaciones periódicas para asegurar que el plan de mantenimiento cumpla con sus objetivos, realizando ajustes según sea necesario para garantizar la continuidad y eficiencia del sistema de bombeo fotovoltaico.

5.7. Análisis de Costo – Beneficio

Estos han sido los costos:

Tabla 7. Costos de implementación de bombeo con sistema fotovoltaico.

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
PANEL SOLAR	UND	764	2	1528
INVERSOR	UND	1025	1	1025
REGULADOR	UND	300	1	300
ACOMETIDA ELECTRICA	ML	1000	1	1000
BATERIAS	UND	707	2	1414
ELECTROBOMBA 750W	UND	1800	1	1800
ESTRUCTURA EN ALUMINIO	UND	500	1	500
TOTAL:				7567

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Costos de implementación de bombeo con combustibles fósiles.

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
COMBUSTIBLE (por temporada sembrío al año)	AÑO	1589	3	4767
ACOMETIDA ELECTRICA	ML	1000	1	1000
ELECTROBOMBA 750W	UND	1800	1	1800
TOTAL:				7567

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 y tabla 8 podemos observar que la inversión de la implementación del sistema fotovoltaico podemos recuperar en 3 años. Con un costo total de implementación del sistema fotovoltaico de S/ 7567, a partir del tercer año ya no se gasta más dinero en combustibles fósiles, esto implica que se generará mayor rentabilidad y también se obtendrá un beneficio significativo en términos de eficiencia y sostenibilidad ambiental para el cultivo de café en el distrito de Villa Rica. Este sistema permite una mejora notable en el rendimiento y la calidad del café, al mismo tiempo que reduce significativamente el consumo de energía no renovable. Además, al utilizar energía solar como fuente de alimentación para el bombeo, se reduce la dependencia de combustibles fósiles, lo que contribuye a la mitigación del impacto ambiental y a la creación de un entorno más sostenible

para la producción agrícola. El costo relativamente bajo de la implementación del sistema fotovoltaico en comparación con los beneficios obtenidos lo convierte en una inversión rentable y prometedora para los agricultores de la zona, proporcionando una solución viable y económicamente favorable para mejorar la productividad del cultivo de café.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis General

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Tabla 9. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la productividad

			Pre Test	Post Test
Rho de Spearman	Pre Test	Coeficiente de correlación	1,000	,842
		Sig. (bilateral)	.	,002
		N	10	10
	Post Test	Coeficiente de correlación	,842	1,000
		Sig. (bilateral)	,002	.
		N	10	10

Fuente: Elaboración propia del autor

De los resultados se aprecia, el grado de relación entre las variables determinadas por el coeficiente Rho de Spearman = ,842 lo cual significa que existe una relación positiva y alta entre las variables, y cuyo p-valor calculado es < 0.05, permite rechazar la hipótesis nula.

Por lo tanto:

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Hipótesis Especifica 1

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Tabla 10. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la optimización de producción

			Rendimiento de Café por Hectárea PRE	Rendimiento de Café por Hectárea POST
Rho de Spearman	Rendimiento de Café por Hectárea PRE	Coeficiente de correlación	1,000	,963
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	10	10
	Rendimiento de Café por Hectárea POST	Coeficiente de correlación	,963	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	10	10

Fuente: Elaboración propia del autor

De los resultados se aprecia, el grado de relación entre las variables determinadas por el coeficiente Rho de Spearman = ,963 lo cual significa que existe una relación positiva y alta entre las variables, y cuyo p-valor calculado es < 0.05, permite rechazar la hipótesis nula.

Por lo tanto:

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Hipótesis Especifica 2

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Tabla 11. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y la calidad del café

			Puntuación de Calidad del Café PRE	Puntuación de Calidad del Café POST
Rho de Spearman	Puntuación de Calidad del Café PRE	Coeficiente de correlación	1,000	,730
		Sig. (bilateral)	.	,021
		N	10	10
	Puntuación de Calidad del Café POST	Coeficiente de correlación	,730	1,000
		Sig. (bilateral)	,021	.
		N	10	10

Fuente: Elaboración propia del autor

De los resultados se aprecia, el grado de relación entre las variables determinadas por el coeficiente Rho de Spearman = ,730 lo cual significa que existe una relación positiva y alta entre las variables, y cuyo p-valor calculado es < 0.05, permite rechazar la hipótesis nula.

Por lo tanto:

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Hipótesis Especifica 3

H₁: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

H₀: El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos no optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

Tabla 12. Correlación entre el sistema de bombeo por paneles fotovoltaicos y eficiencia en el uso de recursos

			Consumo de Energía No Renovable (kW.h) PRE	Consumo de Energía No Renovable (kW.h) POST
Rho de Spearman	Consumo de Energía No Renovable (kW.h) PRE	Coeficiente de correlación	1,000	0,998
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	10	10
	Consumo de Energía No Renovable (kW.h) POST	Coeficiente de correlación	0,998	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	10	10

Fuente: Elaboración propia del autor

De los resultados se aprecia, el grado de relación entre las variables determinadas por el coeficiente Rho de Spearman = ,998 lo cual significa que existe una relación positiva y alta entre las variables, y cuyo p-valor calculado es < 0.05, permite rechazar la hipótesis nula.

Por lo tanto:

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En la investigación realizada por Munive y Pereira en el 2022 la cual plantea como objetivo general diseñar un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego de un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia. Los resultados obtenidos fueron que en el escenario estudiado son suficientes una bomba de 0,75kW, 2 paneles solares de 330W, 2 baterías de 100ah y un inversor de 3kW, con un costo global estimado de casi 16 millones de pesos, dicho proyecto resulta en un retorno simple de 16 años respecto conexión a red eléctrica nacional, y de 1.8 años respecto a uso de planta eléctrica. En el escenario rural real, la conexión eléctrica es deficiente y lo que prima es el uso de planta eléctrica por lo que el proyecto es interesante en zonas donde el sistema interconectado nacional no está presente. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual se ha requerido de 2 paneles solares y 2 baterías, alcanzando una optimización eficaz al dimensionar adecuadamente el sistema, evaluar su rentabilidad y adaptarse a las condiciones específicas del entorno rural, contribuyendo así a mejorar la producción de café, especialmente en áreas donde la conexión a la red eléctrica nacional es deficiente.

En la investigación realizada por Hospital y González en el 2021 la cual planteó como objetivo diseñar un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica para el beneficio del departamento de Cundinamarca, teniendo como objeto de estudio el municipio de Chaguaní, Cundinamarca Colombia. Los resultados obtenidos fueron que se determina la potencia que requiere la bomba para el sistema y se selecciona una bomba y motor sumergible comercial de 15HP, esto con el fin de cumplir con las necesidades y requerimientos que demanda el proyecto, en cuanto a caudal y altura para que el recurso hídrico llegue hasta el reservorio, se detalló el consumo energético total del sistema de

bombeo y se observa que se requiere de 50424.75W diarios. El sistema fotovoltaico se dimensionó y se obtuvo un arreglo de paneles solares de 380W de potencia a 24V, en serie y paralelo, 2 baterías de 3420Ah a 48V, 2 controladores de carga de 85Amp y uno de 60Amp y dos inversores con una potencia de 8kW y 6kW. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual el sistema de bombeo garantiza un suministro constante y adecuado de agua para el riego, lo que es esencial para el desarrollo saludable de los cultivos de café. Un suministro de agua consistente y bien regulado contribuye directamente a la uniformidad en el crecimiento de los granos de café, influyendo positivamente en la calidad del producto final. Además, el uso eficiente del sistema de bombeo, especialmente si está alimentado por fuentes renovables como paneles solares, no solo reduce los costos operativos, sino que también demuestra un compromiso con prácticas agrícolas sostenibles, lo cual puede ser un factor adicional que mejora la percepción y la calidad de la producción de café. En conjunto, un sistema de bombeo bien diseñado no solo optimiza los recursos hídricos, sino que también respalda la calidad y sostenibilidad del cultivo de café.

En la investigación realizada por Sangucho y Villacis en el 2021 la cual tiene como finalidad la instalación de un sistema de bombeo de agua impulsado por energía solar para el riego por goteo en el Barrio Rumipamba de Navas-Salcedo. Los resultados indican que se llevó a cabo la propuesta tecnológica con el objetivo de abastecer intermitentemente tres invernaderos de tomate riñón con áreas respectivas de 3000 m², 2000 m² y 1300 m², que carecían de acceso a agua. Para esto, se emplearon tres paneles solares como componente esencial del sistema fotovoltaico, junto con tres baterías para la acumulación de energía, un regulador de carga responsable de la gestión de la carga y descarga de las baterías, y un inversor del sistema fotovoltaico encargado de convertir diferentes tensiones de carga. Además, se utilizó una bomba de $\frac{3}{4}$ de HP para el riego de todos los invernaderos. La implementación demostró su funcionamiento adecuado, con un inicio normal de la bomba que registró una corriente de 6 A y una corriente máxima de 34 A de los paneles. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación ya que un sistema de bombeo eficiente garantiza

un suministro adecuado de agua para el riego, lo que resulta crucial para el desarrollo óptimo de los cultivos de café. La capacidad de proporcionar agua de manera consistente y controlada contribuye directamente a la salud de las plantas y al rendimiento general por hectárea. Además, la automatización y eficiencia del sistema de bombeo pueden mejorar la gestión hídrica, permitiendo una distribución uniforme del agua en el cultivo. Esto no solo afecta positivamente el tamaño y la calidad de los granos de café, sino que también puede influir en la capacidad de la plantación para enfrentar condiciones climáticas variables, optimizando así el rendimiento por hectárea y contribuyendo al éxito económico y sostenible de la producción de café.

En la investigación realizada por Dávalos en el 2019 la cual plantea como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén – Cajamarca. Los resultados obtenidos fueron que la potencia de generación calculada es de 1 723,62 W, potencia suficiente para bombear 10 m³/h. El caudal garantiza la demanda hídrica, además el diseño está considerado para el mes que presenta menos índice de radiación solar. Se estimó la demanda energética de 3117,4 Wh/día, y una potencia hidráulica de 840,27 W. Con un rendimiento de la motobomba de 65%, la potencia eléctrica de la motobomba resultó 1,29 kW. El sistema fotovoltaico de bombeo de agua requiere 16 paneles de 100 Wp conectarlos 8 en serie y 2 en paralelo; 1 controlador de carga de 14 A y 96 V CD; 1 motobomba solar de carga dinámica total 40 m, caudal máximo 13 m³/h y un reservorio de 40 000 litros para un día de autonomía. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual un sistema de bombeo que utiliza energía renovable no solo reduce la dependencia de fuentes convencionales y contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que también mejora la eficiencia en el uso de recursos al minimizar la huella ambiental. La utilización de energía solar para el bombeo disminuye los costos operativos a lo largo del tiempo y, al mismo tiempo, promueve prácticas agrícolas más sostenibles. Esta relación directa entre el sistema de bombeo y el uso eficiente de recursos renovables refleja un compromiso con la sostenibilidad,

posicionando la producción agrícola, en este caso, el cultivo de café, como un modelo ejemplar de prácticas amigables con el medio ambiente.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

El diseño y desarrollo de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos para mejorar la productividad del cultivo de café en el distrito de Villa Rica requieren una atención cuidadosa a consideraciones éticas fundamentales. Al abordar este proyecto, nos comprometemos a los siguientes principios éticos:

Sostenibilidad Ambiental: Nos comprometemos a minimizar el impacto ambiental del sistema, seleccionando materiales sostenibles y asegurando que la implementación del proyecto no cause daños irreparables al entorno natural. Se dará prioridad a prácticas respetuosas con el medio ambiente, asegurando la conservación de la biodiversidad local.

Equidad Social: Aseguraremos que la implementación del sistema beneficie de manera equitativa a la comunidad local, evitando cualquier forma de discriminación en la distribución de los beneficios y oportunidades generados por el proyecto. Se fomentará la participación activa de la comunidad en el diseño e implementación del sistema, respetando sus conocimientos locales y tradiciones.

Inclusión y Participación Comunitaria: Promoveremos la inclusión activa de la comunidad en todas las etapas del proyecto, desde la concepción hasta la implementación y el mantenimiento continuo del sistema. Garantizaremos la transparencia en la comunicación y compartiremos información relevante sobre el proyecto con la comunidad de manera accesible.

Calidad del Café y Seguridad Alimentaria: Nos comprometemos a diseñar el sistema de bombeo de manera que mejore la calidad del café sin comprometer la seguridad alimentaria. Se aplicarán estándares éticos en la gestión del agua, asegurando que los recursos hídricos se utilicen de manera responsable y sostenible.

Respeto a la Cultura Local: Reconocemos y respetamos la rica herencia cultural de la comunidad de Villa Rica. Nos aseguraremos de que el diseño y la

implementación del sistema respeten y valoren las prácticas culturales locales, evitando cualquier impacto negativo.

Responsabilidad a Largo Plazo: Nos comprometemos a diseñar un sistema de bombeo con una perspectiva a largo plazo, considerando su sostenibilidad en el tiempo y anticipando posibles impactos futuros. Se establecerán planes de mantenimiento y gestión para garantizar la eficacia y durabilidad del sistema después de la implementación inicial.

VII. CONCLUSIONES

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco – 2023.

VIII. RECOMENDACIONES

- Investigar y perfeccionar tecnologías de almacenamiento de energía para maximizar la eficiencia en la captación y uso de energía solar. La implementación de sistemas avanzados de almacenamiento podría mejorar la gestión de energía durante períodos de baja radiación solar y contribuir a una operación más constante y fiable del sistema de bombeo.
- Realizar un estudio más detallado sobre el impacto económico del proyecto en la comunidad local, considerando aspectos como la generación de empleo, el aumento de la productividad agrícola y la mejora de los ingresos familiares. Esto proporcionaría información valiosa para medir el impacto socioeconómico y ajustar estrategias para maximizar beneficios locales.
- Explorar e implementar prácticas agronómicas innovadoras que se beneficien de la disponibilidad de agua proporcionada por el sistema de bombeo solar. La introducción de tecnologías agrícolas avanzadas podría potenciar aún más la calidad y cantidad de la producción de café, mejorando la sostenibilidad del sistema.
- Establecer un programa de monitoreo a largo plazo para evaluar continuamente la eficiencia energética del sistema de bombeo y realizar ajustes según sea necesario. La recopilación de datos a lo largo del tiempo permitiría identificar patrones, optimizar el rendimiento y garantizar la durabilidad del sistema.
- Implementar programas de desarrollo de capacidades locales para que la comunidad pueda asumir un papel activo en la operación y mantenimiento del sistema de bombeo. La capacitación de la mano de obra local contribuiría a la sostenibilidad del proyecto a largo plazo y fortalecería la resiliencia de la comunidad frente a posibles desafíos operativos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. S. Munive y J. Pereira. “Diseño de un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego en un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica, Universidad Antonio Nariño, Colombia, 2022.
- [2]. K. Hospital y L. González. “Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Piloto de Colombia, Colombia, 2021.
- [3]. L. Cerna. “Diseño del Sistema de Bombeo con Energía Sustentable Para Abastecer Agua de Riego al Anexo Chakiqampa – Vinchos – Huamanga – Ayacucho”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad César Vallejo, Perú, 2021
- [4]. J. Sangucho y B. Villacis. “Diseño e implementación de un sistema de bombeo de agua, alimentado por un sistema fotovoltaico para riego por goteo en el barrio Rumipamba de Navas- Salcedo”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 2021.
- [5]. I. Alulema. “Diseño y construcción de un sistema de bombeo y riego alimentado mediante un panel fotovoltaico con electroválvulas y aspersores para la irrigación de la Hostería Casa Maya”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2022.
- [6]. D. Yec. “Diseño de un sistema de bombeo y recolección de agua pluvial para un proceso de purificación de agua para el Parque Ecológico La Asunción”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 2022.
- [7]. J. Dávalos. “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Nacional de Jaén, Perú, 2019.

- [8]. R. Yarleque y E. Flores. "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la finca San Jose – Caserío la colorada – distrito de Morrope departamento de Lambayeque". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Lambayeque, 2019.
- [9]. K. Mariños y D. Medina. "Diseño de un Sistema de Bombeo accionado por Paneles fotovoltaicos para extracción de Agua a la Ciudadela Muchick – Pacasmayo – La Libertad". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, 2021.
- [10]. E. Bermeo y A. Silva. "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado puerto Tamborapa, distrito Chirinos - San Ignacio". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jaén, Jaén, 2022.
- [11]. R. Angulo [et al.]. "Diseño del sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para potenciar el funcionamiento de una bomba de succión de agua", *Revista Social Fronteriza*, vol. 2, no. 6, pp. 30-49, noviembre 2022.
- [12]. J. Rivas. "Implementación de un Sistema de Bombeo de Agua, Alimentado con Energía Solar en la Universidad de Córdoba - Colombia", *In Vestigium Ire*, vol. 15, no. 1, pp. 105-120, junio 2021.
- [13]. C. Pérez. "Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 12, no. 4, pp. 713-725, febrero 2022.
- [14]. W. Badillo, V. Garzón y S. Barrezueta. "Análisis migratorio y su efecto en la productividad de cultivos de ciclo corto en el Cantón Colta, periodo 2015-2018", *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, vol. 4, no. 2, pp. 107-113, mayo 2021
- [15]. R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista. *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México: McGraw-Hill, 2014.
- [16]. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022, diciembre 9). Pasco: Compendio estadístico [online]. Disponible en:

<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4005884-compendio-estadistico-pasco-2022>

ANEXOS

ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALIMENTADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE CAFÉ EN EL DISTRITO DE VILLA RICA – PROVINCIA DE OXAPAMPA – DEPARTAMENTO PASCO - 2023						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
General:	General:	Principal:	VI Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos	Capacidad de bombeo	Volumen de agua suministrado por hora	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo Tecnológico DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Pre experimental MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Hipotético - deductivo POBLACIÓN: La población estará conformada por 22 productores de café. MUESTRA: La muestra estará conformada por 10 productores de café.
¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.	El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la productividad del cultivo de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.		Eficiencia energética	Relación entre energía solar generada y agua bombeada	
				Almacenamiento de energía	Autonomía del sistema de bombeo	
Específicos:	Específicos:	Secundarias		Mantenimiento y durabilidad	Tiempo promedio entre fallas	
¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.	El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.	VD Productividad del cultivo	Producción de café Calidad del café	Rendimiento de café por hectárea Puntuación de calidad del café	
¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.	El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la calidad del café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.		Eficiencia en el uso de recursos	Consumo de energía no renovable	
¿De qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.	El diseño de un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos optimiza la eficiencia en el uso de recursos en la producción de café en el distrito de villa rica – provincia de Oxapampa – departamento pasco.		Producción de café	Rendimiento de café por hectárea	

ANEXO N.º 02: INSTRUMENTO

Productor	Producción de café	Calidad del café	Eficiencia en el uso de recursos
	Rendimiento de café por hectárea (cantidad de café por hectárea)	Puntuación de calidad del café (1-10)	Consumo de energía no renovable (kW.h)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

ANEXO N.º 03: BASE DE DATOS

PRE-TEST			
Productor	Rendimiento de Café por Hectárea	Puntuación de Calidad del Café	Consumo de Energía No Renovable (kWh)
P1	800 kg/ha	6.5	1200
P2	750 kg/ha	7.2	1100
P3	900 kg/ha	6.8	1300
P4	820 kg/ha	6.2	1250
P5	780 kg/ha	7	1180
P6	850 kg/ha	6.5	1150
P7	760 kg/ha	7.8	1050
P8	920 kg/ha	6.9	1280
P9	800 kg/ha	7.5	1120
P10	780 kg/ha	6.3	1100

POST-TEST			
Productor	Rendimiento de Café por Hectárea	Puntuación de Calidad del Café	Consumo de Energía No Renovable (kWh)
P1	920 kg/ha	8.2	550
P2	800 kg/ha	8.5	500
P3	980 kg/ha	7.8	600
P4	900 kg/ha	8	575
P5	850 kg/ha	8.7	540
P6	920 kg/ha	8.3	525
P7	800 kg/ha	9	490
P8	1000 kg/ha	8.1	590
P9	880 kg/ha	8.8	510
P10	850 kg/ha	7.9	500