



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO  
TECNIFICADO EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN  
CHALLACOLLO - ACORA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



# EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI

## SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO T...

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::8254:417642940

169 Páginas

Fecha de entrega  
19 dic 2024, 4:31 p.m. GMT-5

30,011 Palabras

Fecha de descarga  
19 dic 2024, 4:33 p.m. GMT-5

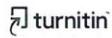
150,521 Caracteres

Nombre de archivo  
BORRADOR - EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI.pdf

Tamaño de archivo  
6.8 MB

Ph.D. Lorenzo Cieza C.





## 12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

### Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

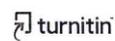
Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ph.D. Lorenzo Cieza C.



B.Sc. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA  
Director Unidad de Investigación  
Facultad de Ingeniería Agrícola - UIA - Puno





## DEDICATORIA

*Dedico mi trabajo de tesis plenamente a Dios, por iluminarme en el transcurso de mis estudios y sobre todo cuidar de mi persona en todo momento para poder alcanzar mis objetivos propuestos.*

*Con todo mi cariño y amor para mis padres Raúl Oswaldo y Margarita, que hicieron todo lo posible para que yo logre mis sueños, por apoyarme en las buenas decisiones y en los consejos que me fortalecieron en mi vida académica.*

*A mis hermanas Rocío y Liz Gimena por la paciencia, comprensión y brindarme su apoyo en todo momento.*

***Edy Waldir Ccallomamani Ccallomamani***



## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis queridos padres por el apoyo económico que me dieron para poder realizar el trabajo de investigación.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por ser el alma mater que me brindó los conocimientos necesarios durante mi permanencia y a todos los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

Agradezco al Ph.D Lorenzo Gabriel Cieza Coronel por su paciencia y disponibilidad de tiempo como asesor en el apoyo del trabajo de investigación.

De igual manera al jurado evaluador, que mediante las observaciones y sugerencias se logró culminar con éxito la presente tesis.

*Edy Waldir Ccallomamani Ccallomamani*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>21</b>
1.1.1. Problema general.....	22
1.1.2. Problemas específicos .....	22
<b>1.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Hipótesis alterna.....	23
1.2.2. Hipótesis nula.....	23
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
1.4.1. Objetivo general .....	24
1.4.2. Objetivos específicos .....	25
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>26</b>



2.1.1.	Internacionales .....	26
2.1.2.	Nacionales .....	28
2.1.3.	Regionales .....	30
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>32</b>
2.2.1.	Radiación solar.....	32
2.2.2.	Energía solar.....	34
2.2.3.	Sistemas fotovoltaicos.....	35
2.2.4.	Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos.....	38
2.2.4.1.	Bombas centrífugas.....	38
2.2.4.2.	Bombas volumétricas.....	39
2.2.4.3.	Bombas de cilindro .....	40
2.2.4.4.	Bombas de diafragma.....	41
2.2.5.	Bombeo con energía solar fotovoltaica.....	42
2.2.5.1.	Conducción de agua por bombeo o impulsión.....	43
2.2.5.2.	Calculo hidráulico .....	43
2.2.6.	Condiciones para la generación de energía eléctrica empleando paneles solares .....	45
2.2.6.1.	Inclinación y orientación.....	45
2.2.6.2.	Radiación directa y difusa.....	46
2.2.6.3.	Altitud, albedo y otros factores .....	46
2.2.6.4.	Sombras y reflejos.....	47
2.2.6.5.	Condiciones climatológicas .....	47
2.2.6.6.	Polvo y suciedad .....	48
2.2.6.7.	Pérdidas de conexionado.....	49
2.2.6.8.	Perdidas angulares y espectrales .....	49



2.2.7.	Componentes de los sistemas fotovoltaicos .....	50
2.2.7.1.	Celda fotovoltaica .....	50
2.2.7.2.	Un módulo o panel .....	50
2.2.7.3.	Arreglo .....	50
2.2.8.	Componentes de los sistemas fotovoltaicos .....	51
2.2.8.1.	Circuito en serie .....	52
2.2.8.2.	Circuito en paralelo .....	52
2.2.8.3.	Circuito en serie y en paralelo.....	53
2.2.9.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo de agua .....	54
2.2.9.1.	Cálculo de la potencia del generador. ....	54
2.2.9.2.	Cálculo del número de Paneles .....	55
2.2.9.3.	Almacenamiento de energía.....	55
2.2.10.	Sistemas de riego.....	56
2.2.10.1.	Componentes del sistema de riego.....	56
2.2.11.	Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego.....	58
2.2.11.1.	Topografía de terreno del lugar.....	58
2.2.11.2.	Contenido de agua en el suelo.....	58
2.2.11.3.	Tipo de suelo .....	59
2.2.11.4.	Densidad aparente de suelo.....	59
2.2.11.5.	Capacidad de Campo .....	60
2.2.11.6.	Punto de Marchitez permanente del suelo .....	61
2.2.11.7.	Diseño agronómico .....	61
<b>2.3.</b>	<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....</b>	<b>69</b>
2.3.1.	Energía fotovoltaica .....	69
2.3.2.	Panel fotovoltaico.....	69



2.3.3. Modulo fotovoltaico .....	69
2.3.4. Bombeo fotovoltaico .....	69
2.3.5. Watt pico .....	69
2.3.6. Sistema de riego .....	70
2.3.7. Necesidad hídrica del cultivo .....	70
2.3.8. Invernadero .....	70
2.3.9. Hortalizas .....	70

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>72</b>
3.1.1. Limites. ....	72
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad .....	73
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>74</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>74</b>
3.3.1. Población.....	74
3.3.2. Muestra .....	75
<b>3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>75</b>
3.4.1. Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024 .....	75
3.4.2. Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en condiciones de invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024 .....	78
3.4.3. Realizar el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado	



en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024. ....	83
---	----

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DETERMINAR LA RADIACIÓN SOLAR EXISTENTE EN LA COMUNIDAD CAMPESINA CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024.....</b>	<b>90</b>
4.1.1. Cálculo de la declinación solar .....	90
4.1.2. Cálculo del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal.....	90
4.1.3. Cálculo del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado .....	91
4.1.4. Cálculo del Factor de Excentricidad .....	91
4.1.5. Cálculo de la irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal .	92
4.1.6. Cálculo del índice de claridad .....	92
4.1.7. Cálculo de la fracción difusa .....	92
4.1.8. Cálculo de la radiación difusa sobre un plano horizontal .....	93
4.1.9. Cálculo de la radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal.	93
4.1.10. Cálculo de la radiación solar directa sobre un panel solar inclinado .....	93
4.1.11. Cálculo de la radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado .....	94
4.1.12. Cálculo de la radiación solar Albelo sobre un panel solar inclinado .....	94
4.1.13. Cálculo de la radiación solar global .....	95
<b>4.2. DETERMINAR EL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO PARA LA COMUNIDAD</b>	



<b>CAMPESINA DE CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024.....</b>	<b>101</b>
4.2.1. Diseño del invernadero para cultivo de hortalizas .....	101
4.2.2. Requerimiento hídrico de los cultivos en invernadero.....	110
4.2.2.1. Diseño agronómico .....	110
<b>4.3. REALIZAR EL CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO TECNIFICADO EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024.....</b>	<b>118</b>
4.3.1. Caudal de la fuente seleccionada .....	118
4.3.2. Cálculo hidráulico del sistema de bombeo.....	119
4.3.3. Cálculo de los módulos solares fotovoltaicos .....	122
4.3.4. Cálculo hidráulico de las líneas de riego.....	126
4.3.5. Consideraciones para la instalación del módulo solar fotovoltaico .....	127
4.3.6. Consideraciones del sistema de tierra y sistemas de protección contra sabotaje del módulo solar fotovoltaico .....	128
4.3.7. Consideraciones del soporte y estructura del módulo solar fotovoltaico.... .....	129
4.3.8. Consideraciones de la bomba y motor .....	129
4.3.9. Consideraciones para el cableado y conexiones eléctricas del arreglo fotovoltaico. ....	130
4.3.10. Otras partes y componentes .....	131
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>134</b>



<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>

**Área:** Ingeniería y tecnología.

**Línea:** Recursos hídricos.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 27 de diciembre del 2024.



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Principales características de las bombas fotovoltaicas.....	41
<b>Tabla 2</b> Densidad aparente de tipos de suelo .....	60
<b>Tabla 3</b> Valores normales de Capacidad de Campo .....	60
<b>Tabla 4</b> Valores normales de Coeficiente de Marchitez .....	61
<b>Tabla 5</b> Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego .....	66
<b>Tabla 6</b> Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio .....	73
<b>Tabla 7</b> Datos para la determinación de la lámina neta de riego .....	81
<b>Tabla 8</b> Comparativa de la radiación solar para la zona en estudio .....	95
<b>Tabla 9</b> Calculo de la radiación solar en base a las ecuaciones del libro de Photovoltaic Science and Engineering.....	97
<b>Tabla 10</b> Dimensiones para el invernadero propuesto.....	101
<b>Tabla 11</b> Cálculo de la evapotranspiración de referencia del cultivo de hortalizas en invernadero .....	111
<b>Tabla 12</b> Requerimiento hídrico de cultivo de hortalizas en invernadero .....	116
<b>Tabla 13</b> Cálculo del caudal de agua .....	119



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Componentes de la radiación solar .....	34
<b>Figura 2</b> Combinación de 2 sistemas en uno solo .....	35
<b>Figura 3</b> Componentes de la radiación solar .....	36
<b>Figura 4</b> Esquema de funcionamiento de un panel solar .....	37
<b>Figura 5</b> Esquema de una bomba centrífuga superficial. ....	39
<b>Figura 6</b> Esquema de una bomba centrífuga sumergible. ....	39
<b>Figura 7</b> Esquema de una bomba volumétrica de cilindro. ....	40
<b>Figura 8</b> Radiación solar directa y difusa .....	46
<b>Figura 9</b> Celda, Panel y Arreglo fotovoltaico.....	51
<b>Figura 10</b> Circuito en serie .....	52
<b>Figura 11</b> Circuito en paralelo .....	53
<b>Figura 12</b> Circuito en serie y en paralelo .....	54
<b>Figura 13</b> Sistema de Impulsión de un sistema de agua para riego.....	55
<b>Figura 14</b> Sistema de riego .....	58
<b>Figura 15</b> Tipos de suelo .....	59
<b>Figura 16</b> Ubicación de la zona en estudio.....	72
<b>Figura 17</b> Dimensiones de la bloqueta para muro del invernadero .....	102
<b>Figura 18</b> Detalles del techo del invernadero .....	103
<b>Figura 19</b> Detalles de correa y tijerales de madera plastica .....	104
<b>Figura 20</b> Detalles de la ventana del invernadero .....	104
<b>Figura 21</b> Detalles de bandejas de poliestireno .....	105
<b>Figura 22</b> Detalles de la estructura de soporte de bandejas.....	105
<b>Figura 23</b> Detalles de los niveles para diferente tipo de cultivo .....	106



<b>Figura 24</b>	Detalles del área del invernadero propuesto .....	107
<b>Figura 25</b>	Detalles de la vista frontal del invernadero propuesto.....	107
<b>Figura 26</b>	Detalles de la vista trasera del invernadero propuesto.....	108
<b>Figura 27</b>	Detalles de la vista lateral del invernadero propuesto .....	108
<b>Figura 28</b>	Isometría del invernadero propuesto .....	109
<b>Figura 29</b>	Módulos fotovoltaicos propuestos .....	126
<b>Figura 30</b>	Sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el invernadero propuesto.....	127



## ACRÓNIMOS

<b>SENAMHI:</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>Wh/m<sup>2</sup>:</b>	Whats hora por metro cuadrado
<b>RG:</b>	Radiación solar global
<b>ET<sub>o</sub>:</b>	Evapotranspiración de referencia de cultivo
<b>K<sub>c</sub>:</b>	Coefficiente de cultivo
<b>ET<sub>c</sub>:</b>	Evapotranspiración de cultivo
<b>L<sub>n</sub>:</b>	Lámina neta de riego
<b>L<sub>b</sub>:</b>	Lámina bruta de riego
<b>I<sub>r</sub>:</b>	Intervalo de riego
<b>T<sub>r</sub>:</b>	Tiempo de riego
<b>D<sub>a</sub>:</b>	Demanda de agua
<b>W<sub>p</sub>:</b>	Watts pico
<b>P<sub>g</sub>:</b>	Potencia del generador
<b>A:</b>	Angulo de inclinación del panel solar
<b>h:</b>	Altura del panel solar
<b>Q:</b>	Caudal
<b>Q<sub>b</sub>:</b>	Caudal de bombeo
<b>P<sub>b</sub>:</b>	Potencia de la bomba
<b>HDT:</b>	Altura Hidrodinámica Total
<b>V:</b>	Velocidad



## RESUMEN

La investigación surge a razón de que en la comunidad campesina de Challacollo, presentan el eterno problema del agua y energía; debido a que para transportar el agua hacia sus zonas de riego de cultivos se requiere de una red eléctrica; el cual no es sustentable con la economía que presenta la población; en ese contexto se plantea el objetivo general de proponer el diseño de un sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en Challacollo - Acora; con procedimiento mediante la determinación de la radiación solar existente en la comunidad; para posteriormente determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en invernadero (Lechuga, Alcachofa, Acelga, Brocoli y Repollo); y finalmente realizar el cálculo hidráulico de sistema de bombeo mediante la aplicación de energía fotovoltaica. Siendo resultante que la radiación solar global sobre el área en estudio es de  $2486.32 \text{ Wh/m}^2$ ; así mismo el requerimiento hídrico de cultivos de hortalizas en invernadero para  $158.65\text{m}^2$ , será de  $0.17 \text{ m}^3$  por día; con un caudal requerido de  $0.311 \text{ lps}$  ( $0.000311 \text{ m}^3/\text{s}$ ); también se requerirá un caudal de bombeo de  $0.0167\text{m}^3/\text{s}$ , para abastecer de agua, en un diámetro de impulsión de  $1\text{pulg.}$  a un reservorio de  $3\text{m}^3$ ; por ello se requiere una potencia de la bomba de  $0.50\text{HP}$ ; con respecto a los módulos fotovoltaicos; estarán en un ángulo de inclinación óptimo de  $15.01^\circ$ ; con una altura sobre la superficie de  $0.51\text{m}$ ; a distancias de  $0.49\text{m}$  de cada panel; demandando una potencia fotovoltaica de  $614.40\text{Wp}$ ; por ello se requerirá 6 paneles solares de  $100\text{Wp}$  de potencia cada una; (3 paneles en serie y 2 en paralelo). Concluyendo que el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico garantizara el riego de hortalizas en invernadero.

**Palabras clave:** Energía fotovoltaica, radiación solar, bombeo solar, sistema de riego, requerimiento hídrico.



## ABSTRACT

The research arises because in the rural community of Challacollo, they have the eternal problem of water and energy; because to transport water to their irrigation areas of crops requires an electrical network; which is not sustainable with the economy that presents the population; in this context the general objective of proposing the design of a water pumping system through the application of photovoltaic energy for irrigation of vegetables in greenhouses in the rural community of Challacollo, Acora, Puno; with procedure by determining the existing solar radiation in the community; to subsequently determine the water requirement of greenhouse crops (lettuce, artichoke, chard, broccoli and cabbage); and finally make the hydraulic calculation of pumping system by applying photovoltaic energy. As a result, the global solar radiation on the area under study is 2486.32 Wh/m<sup>2</sup>; likewise, the water requirement of greenhouse vegetable crops for 158.65m<sup>2</sup>, will be 0.17 m<sup>3</sup> per day; with a required flow of 0.3111ps (0.000311 m<sup>3</sup>/s); also a pumping flow of 0.0167m<sup>3</sup>/s will be required, to supply water, in an impulsion diameter of 1in. to a reservoir of 3m<sup>3</sup>; therefore a pump power of 0.50HP is required; with respect to the photovoltaic modules; they will be at an optimal angle of inclination of 15. 01°; with a height above the surface of 0.51m; at distances of 0.49m from each panel; demanding a photovoltaic power of 614.40Wp; therefore 6 solar panels of 100Wp power each will be required; (3 panels in series and 2 in parallel). Concluding that the design of the photovoltaic pumping system will guarantee the irrigation of vegetables in the greenhouse.

**Keywords:** Photovoltaic energy, solar radiation, solar pumping, irrigation system, water requirements.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años debido al agotamiento de los suministros de energía convencionales, la población mundial lleva un tiempo experimentando problemas relacionados con la energía, así como una escasez de recursos hídricos (Flores, 2018); la gran mayoría de los bienes tradicionales, incluido el petróleo y sus derivados, se utilizan como procesos energéticos para impulsar enormes masas de agua y succionarlas mediante bombeo por motivos de consumo y/o riego (Cerdan, 2021).

En consecuencia, algunas naciones en desarrollo optan por utilizar fuentes de energía sustitutas, siendo esta la energía solar, para bombear agua en lugar de invertir en proyectos de electrificación que llevarían la red a zonas remotas o de difícil acceso. Esto se debe a que estos países carecen de la electricidad necesaria para satisfacer la demanda de electricidad (Flores, 2018). Los sistemas de bombeo de agua que emplean gasóleo o propano para su funcionamiento son costosos debido al valor económico del combustible, y su infraestructura también contribuye a la contaminación acústica y a la degradación del medio ambiente. En este contexto, cabe señalar que el bombeo de agua puede realizarse con energía generada por tecnologías que emplean energías renovables como fuente principal, como la energía fotovoltaica empleando paneles solares, lo que reduce la dependencia de los combustibles convencionales como es el carbón, el gas y el gasóleo (Valenzuela, 2020).

Los datos sugieren que el coste de funcionamiento, mantenimiento y sustitución de una bomba diésel es de dos a cuatro veces mayor que el de una bomba alimentada por energía fotovoltaica (FV). Esto nos lleva a concluir que las celdas fotovoltaicas son más rentables y respetuosos con el ambiente que las bombas diésel porque requieren un



mantenimiento menos frecuente y no tienen costes de combustible (Mamani & Cuba, 2019).

Del mismo modo, es fundamental tener en cuenta que la falta de electricidad de red en la mayor parte de zonas rurales y remotas del mundo presenta una oportunidad para integrar paneles fotovoltaicos y utilizar la energía solar, específicamente para los sistemas de bombeo; también, la tecnología es la misma que los sistemas convencionales de bombeo, con la excepción de que la fuente de impulso es solar (Valenzuela, 2020).

Por ello es que surge el desarrollo del presente estudio titulada “sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en Challacollo - Acora”.

De forma similar, el presente proyecto de investigación se divide en los cuatro capítulos siguientes:

El problema de estudio se enuncia en el Capítulo I, Introducción, junto con la hipótesis, fundamentación y objetivos alcanzados que contempla el estudio.

En el capítulo II se presentan los argumentos sobre el tema del estudio, las fuentes, los fundamentos teóricos que han servido de base a este trabajo.

El Capítulo III de la investigación trata en profundidad la metodología, incluyendo la población y la muestra, los métodos, el procesamiento de datos, los equipos y procesos, y el tipo y diseño del estudio.

En el Capítulo IV se presentan los resultados y discusión. Por último, se discuten las recomendaciones y las conclusiones.



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día existen varias opciones de riego, pero a menudo incluyen el uso de energía eléctrica tradicional, diésel y gasolina, lo que con el tiempo resulta en altos gastos y bajos niveles de rentabilidad (Munive & Pereira, 2022), de forma similar, el mundo afronta una gran crisis hídrica, principalmente debido al cambio climático, que resulta en menos lluvias y disminuye la producción de productos agrícolas (Davila, 2022); en vista de ello, la producción de energía fotovoltaica ha ganado gran atención como sustituto de los combustibles fósiles, transformándose en una reacción natural al incremento del requerimiento de energía en el sector agrícola (Bermeo & Silva, 2022).

A escala nacional, los motores de combustión y las bombas hidráulicas instaladas en los pozos o a cielo abierto suelen utilizarse para el bombeo de agua destinada al riego de cultivos agrícolas. Estos motores suelen estar sobredimensionados y funcionan principalmente con combustibles fósiles (petróleo, gasolina), lo que eleva el coste de funcionamiento y preservación de los sistemas de bombeo, además, la combustión de estos combustibles libera gases tóxicos a la atmósfera, como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y Pb, lo que contribuye a la contaminación atmosférica local (Cerna, 2021). El desarrollo de tecnologías novedosas de generación eléctrica, algunas de las cuales ya son muy habituales en varios países del mundo, como es la fotovoltaica, que representa una fuente de electricidad para los sistemas de bombeo de agua (energía fotovoltaica), también se ha visto impulsado por el cambio climático y la exigencia de electrificar zonas remotas aisladas de la red tradicional (Cerna, 2021).

En el departamento de Puno, en específico en la comunidad Campesina de Challacollo del distrito de Acora, presentan el eterno problema del agua y energía; debido a que para transportar el agua hacia sus zonas de riego de cultivos principalmente de



hortalizas se requiere de una red eléctrica; el cual no es sustentable con la economía que presenta la población, por los costos que conlleva bombear agua hacia un reservorio para su distribución, y adicional a ello, la frecuente escasez de lluvia, debido a los cambios climáticos, ocasiona problemas en la humidificación de los suelos y conlleva a la disminución de los rendimientos agrícolas.

Entonces la producción de energía fotovoltaica mediante la radiación solar, por lo tanto, es una alternativa altamente significativa para impulsar la productividad y disminuir el consumo de recursos en un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivos; esto debido a que puede instalarse en zonas aislados y de difícil accesibilidad, como la región en estudio, y así producir energía fotovoltaica con potencias según las necesidades.

#### **1.1.1. Problema general**

¿El diseño propuesto de un sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica permitirá el riego tecnificado de hortalizas en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuánto es la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?
- ¿Cuánto es el requerimiento hídrico de los cultivos en condiciones de invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?



- ¿Cuál es el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?

## **1.2. HIPÓTESIS**

### **1.2.1. Hipótesis alterna**

El diseño propuesto de un sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica permite el riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024

### **1.2.2. Hipótesis nula**

El diseño propuesto de un sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica no permite el riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica porque, en la región de Puno, y en específico en la comunidad Campesina de Challacollo del distrito de Acora, existe la ausencia de recursos hídricos por las sequías que se están suscitando actualmente, originado por el cambio climático; y en consecuencia a ello se genera que grandes áreas de terreno no generen productos agrícolas; de igual manera y las condiciones climáticas característicos del altiplano puneño en época de estiaje, no favorece el crecimiento de los cultivos; siendo en este caso de hortalizas; por ello es necesario realizar un invernadero para la



subsistencia de dichos cultivos y suplir la demanda local de hortalizas en la región como es el caso de la lechuga, alcachofa, acelga, brócoli.

En cuanto al aspecto social se justifica en el hecho de que la ejecución de la propuesta de diseño mejorará las circunstancias de vida, las perspectivas de empleo y el desarrollo comunitario de los residentes de la región de estudio, así como de otros lugares cercanos. En consecuencia, supone elevar la calidad de vida de todos los pobladores de la zona que se dedican a la agricultura.

Así mismo en el aspecto económico, la implementación de un sistema de energía fotovoltaica tiene ahora un coste inicial más elevado que otros tipos de sistemas. Lo interesante es que, al no haber gastos recurrentes, el gasto inicial se recupera a mitad de la vida útil de la implementación. Sin embargo, para el agricultor supondrá un aumento del rendimiento agrícola, lo que incrementará sus ingresos por venta de productos.

Finalmente se justifica en el aspecto ambiental, dado que un sistema fotovoltaico de bombeo de cultivos utiliza la radiación solar para generar energía respetuosa y limpia con el ambiente, puede reducir la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera cuando se utilizan motobombas en los sistemas de riego.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Proponer el diseño de un sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en Challacollo - Acora



#### 1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024
- Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en condiciones de invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024
- Realizar el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Internacionales

Silva *et al.* (2022), efectuaron el artículo científico con el objetivo de diseñar un sistema de riego con bombeo fotovoltaico para un sembrío de palma de aceite en la ciudad de San Carlos de Guaroa. Se proyectaron las necesidades eléctricas, caudales, tuberías, presión y electrobombas a utilizar, fue necesario conocer los datos meteorológicos del área, radiación solar, condiciones del suelo, fuentes de agua requeridas, consumo de agua por palma, evapotranspiración y número de palmas por cada hectárea para diseñar un sistema de riego eficiente para este sembrío. La implantación de esta clase de sistema propició el ahorro energético y el incremento de la producción de los sembríos, lo que ayudó a mitigar algunos de los daños medioambientales causados por el derroche de valioso líquido en las plantaciones de palma aceitera. También fomentó la transición energética al utilizar fuentes de energía renovables.

Munive & Pereira (2022), realizaron el artículo científico con la finalidad de diseñar un sistema de bombeo de agua empleando paneles fotovoltaicos para el cultivo de ñame en Carmen de Bolívar - Colombia. El procedimiento constaba de tres partes. La primera consistía en estudiar las necesidades agronómicas, hídricas y de diseño del bombeo fotovoltaico. El primer paso de este procedimiento consistió en estudiar las características del entorno de la nueva ubicación, como la radiación solar, la distancia de los objetos, las reservas de agua



y la disponibilidad de espacio para el sistema. A continuación se utilizó un análisis técnico para identificar las partes de los sistemas de suministro de energía y bombeo que proporcionan la demanda necesaria para la implantación del sistema de riego. consecutivamente, se terminó un análisis de viabilidad y costes del proyecto, tomando en cuenta tanto los factores técnicos como los de diseño para generar una propuesta de sistema que fuera viable y tuviera un precio razonable. Una vez obtenidos los datos de potencia de la bomba, se puede dimensionar la cantidad de energía que deben proveer los paneles para hacerla funcionar. Se necesitaron dos paneles solares de 330 W y dos baterías de 100 Ah para suministrar al sistema de riego y a la bomba la cantidad prevista de electricidad necesaria. Por último, el estudio de viabilidad demuestra que el sistema fotovoltaicos es mejor que el actual, que depende de la producción de plantas de gasolina. También, se descubrió que el sistema fotovoltaico era lucrativo, con un rendimiento de la inversión de casi dos años.

Sangucho & Villacis (2021), efectuó su artículo científico con el objetivo de implementar un sistema de bombeo de agua empleando un sistema fotovoltaico para el riego en el Barrio Rumipamba de Navas-Salcedo. Tres invernaderos de tomate de riñón de 3000 m<sup>2</sup> para el invernadero 1 S1, 2000 m<sup>2</sup> para el invernadero 2 S2 y 1300 m<sup>2</sup> para el invernadero 3 S3. Estos invernaderos no tienen suficiente líquido vital. Se sugirió tecnológicamente dotarlos de un sistema de bombeo como reserva. En cambio, una parte crucial del sistema fotovoltaico constaba de tres paneles solares. También se utilizaron tres baterías como parte del mecanismo de acumulación. En última instancia, el procedimiento de carga fue gestionado por un controlador de carga. Se comprobó que funcionaba correctamente cuando se



puso en marcha; la bomba empezó a funcionar correctamente con un cableado de 6 A y un cableado máximo de 34 A procedente de los paneles.

Redondo (2020), realizó el trabajo de investigación con el objetivo de sustituir los grupos electrógenos diésel por la implementación de paneles fotovoltaicos para la provisión de energía eléctrica en 2 instalaciones independientes de bombeo agrícola en el municipio de San Clemente - Ecuador. El primero de ellos hace funcionar una bomba de 7,5 kW en mayo a septiembre, cuando la demanda hídrica es mayor. Se investigará el mejor sistema solar fotovoltaico para hacer funcionar esta bomba, sin necesidad de almacenamiento de energía ni energía sobrante. El sistema de bombeo sólo funcionará en dichos meses y en días con adecuada radiación solar. La bomba se utilizará para llenar un depósito en la segunda instalación. Habrá que investigar para determinar qué bomba sería la mejor en esta situación dadas las especificaciones del pozo y el caudal que hay que impulsar. También, se planificará la mejor implementación fotovoltaica en función de la bomba seleccionada. Este sistema no tendrá almacenamiento de energía y funcionará todos los meses siempre que haya bastante radiación solar y haya que llenar el depósito.

### **2.1.2. Nacionales**

Davila (2022), realizó el estudio con el objetivo de dimensionar un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego agrícola en el caserío San Lorenzo - Amazonas. El sistema de bombeo solar se elige y desarrolla en función de la cantidad de agua necesaria para cultivar una hectárea de maíz, así como de las alturas de aspiración e impulsión del sistema. Además brinda una visión general de los sistemas solares fotovoltaicos, desde el diseño hasta la estimación del



recurso solar, el agua y el consumo de energía. Se eligen la bomba eléctrica, el inversor, el impulsor y el tamaño de los paneles. También se calculó el coste de la energía para el precio de la electricidad, que resultó ser de 0,518 S/./kWh con una tasa de descuento de un 10%. Cuando se realizó el análisis económica del sistema de bombeo fotovoltaicos a 25 años utilizando un tipo de interés del valor actual neto del 10%, se comprobó que no era rentable. Adicionalmente, se utilizó una tasa de interés de 9% para analizarlo, y el resultado fue un lucrativo valor presente neto de S/. 5043.61.

Vargas (2021), realizo el estudio con el objetivo de plantear el diseño de un sistema fotovoltaico para la adecuada extracción y bombeo de agua para riego agrícola en el C.P. Aguas Calientes-Cajamarca, aprovechando el agua y que los terrenos sean los mas productivos. Se necesita un total de 75 emisores de riego por goteo para un area de 0,158 m<sup>3</sup>. Cada emisor tendrá un caudal de 4 l/h, y las plantaciones se regarán durante 3 horas al día, lo que requerirá 2500 litros de agua diarios. La línea de impulsión se construyó con una altura dinamica de 37,28 metros y unas pérdidas de energía de 26,86 metros por segundo (c.a.) basadas en  $Q_{md} = 0,083$  l/s y  $Q_b = 0,202$  l/s para atender la demanda de agua. Se utilizará una electrobomba horizontal de superficie Pedrollo 1HP - PKm90 para bombear el agua hasta una altura máxima de 62,47 metros. En última instancia, se necesitan 750 vatios/hora de energía para la bomba, y el diseño fotovoltaico sugerido ayudará a la comunidad permitiéndole utilizar sus tierras para la producción agrícola. El sistema consta de tres paneles solares de 270 vatios y un regulador de tensión de 29,51 amperios. Con una inversión de S/21409.34 nuevos soles, el sistema demostró ser económicamente viable con  $VAN = 13401.177$ ,  $TIR =$ , y  $B/c = 21.493$ .



Jara (2021), efectuó la investigación con la finalidad de efectuar el diseño de un sistema de bombeo solar directo para cubrir la demanda de riego para cultivos de palto en 7 hectáreas del distrito de Guadalupe – La Libertad. Los fundamentos teóricos de los sistemas fotovoltaicos independientes y los cálculos matemáticos realizados a partir de las ecuaciones proporcionadas en el marco teórico sirvieron de cimiento para la construcción del proyecto que aquí se describe. Para la recogida de información sobre la radiación solar se utiliza la plataforma web PVGIS y para la elección de la bomba se tienen en cuenta las numerosas fichas técnicas disponibles en el mercado. El estudio utiliza una metodología cuantitativa, no experimental y descriptiva. A partir de los resultados preliminares del estudio, se determina que, para una superficie con una inclinación de  $15^\circ$ , los valores de irradiación varían entre  $4,72 \text{ kWh/m}^2$  /día en marzo y  $6,66 \text{ kWh/m}^2$  en junio. Con una irradiación de  $5,90 \text{ kWh/m}^2$  al día, febrero es el mes con mayor demanda de agua, y éste es el criterio utilizado para dicho mes. La demanda máxima de agua de  $1029 \text{ l/min}$  que se prevé que proporcione esta irradiación durante el año equivale a una demanda diaria de energía de  $29,2 \text{ kWh}$  y a una potencia de bombeo con  $7,5 \text{ kW}$ . Para satisfacer la demanda de recursos hídricos, el generador fotovoltaico para bombear el agua tiene que incluir también 28 paneles con una potencia total de  $370 \text{ Wp}$ , interconectados 14 en serie con 2 en paralelo; un regulador de carga con una salida de  $23 \text{ A}$  y  $540 \text{ VDC}$  de ingreso al sistema solar y una salida de  $380/400/415/440 \text{ VAC}$ ; y una bomba sumergible con una carga hidráulica total de  $27,6 \text{ m}$  y un caudal máximo de  $1000 \text{ l/min}$ .

### **2.1.3. Regionales**

Arizaca (2022), realizó el artículo científico con la finalidad de calcular la energía fotovoltaica aplicable en un sistema de riego por aspersión para el Centro



Experimental Chuquibambilla-Puno; En primer lugar, deben realizarse los cálculos agronómicos e hidrológicos, así como las partes del módulo solar fotovoltaico. A continuación, debería estimarse el abastecimiento del manantial conocido como "Pujio" a lo largo de las estaciones de crecida y sequía. Por último, debería realizarse una estimación financiera para su ejecución. Los resultados indican que el suministro de agua es de 1,88 l/s durante la estación de estiaje y de 2,34 l/s durante la estación de crecida. El diseño agronómico arrojó una demanda hídrica de 25,70 m<sup>3</sup> diarios para 18000 ha de sembríos de alfalfa, y el cálculo hidráulico produjo un caudal a bombear de 0,00168 m<sup>3</sup>/s. Este caudal de bombeo se alimentará con energía fotovoltaica, ya que la zona de estudio cuenta actualmente con 2122,85 Wh/m<sup>2</sup> de radiación; Para el bombeo solar de agua a una altura dinámica total de 34,16 m con un diámetro de la tubería de aspiración de 2", el ángulo de inclinación fue de 15,64° para cada panel solar, con orientación hacia el norte; presentando una tensión de 762. 92 Wp; demandando un cableado de 12 V; alimentado por 25 paneles solares (2 en paralelo y 16 en serie); alcanzando así una potencia fotovoltaica de 1228,8 Wp; y requiriendo 105 aspersores, concluyendo que el uso de electricidad solar en el sistema de irrigación proporcionará reducción de costos energéticos, favoreciendo así la producción de alfalfa durante las sequías.

Vilca (2021), efectuó su trabajo de investigación con el objetivo de efectuar un estudio para el bombeo de agua empleando la energía fotovoltaica, aplicada al riego en el sector de Rosaspata - cuenca Llallimayo. Este estudio describe un sistema de riego por aspersión móvil para el sembrío de alfalfa que utiliza energía solar y cubre un área de trabajo de 2,49 hectáreas. El mes más crítico, según el diseño agronómico, es octubre, con una evapotranspiración de



referencia de 3,36 mm/día y una precipitación de 8,84 mm/día. El cultivo tiene una necesidad hídrica de 95 mm, el proyecto tiene una demanda hídrica de 126,67 mm, la precipitación neta es de 66,6 mm y la bruta de 88,7 mm. Se ha elegido un área de riego de 18 por 18 m<sup>2</sup>, y el aspersor elegido funcionará a 3,5 bar, lo que supone un caudal de 2.600 l/s. Se comprobó que siete aspersores funcionarán simultáneamente con un radio de alcance de 15 m, y que el flujo hídrico será de 5 lts/s. En el diseño hidráulico se han incluido la línea de conducción, los conductos secundarios, los laterales de riego, las presiones y el caudal total, y se ha seleccionado la mejor bomba de agua del mercado. Para cumplir el requisito mínimo de radiación de 5 W.h/m<sup>2</sup>/día en el diseño fotovoltaico, se necesitaron un total de 18 paneles solares con 320 W de electricidad; estos paneles no tienen batería. El gasto estimado para la implementación del proyecto es de S/. 42,000. En base al análisis, se encontró que la rentabilidad y factibilidad del proyecto es de S/. 121,000 para la producción de ensilaje de alfalfa y de S/. 4,000 para la producción de pacas de alfalfa, con una TIR del 18% y un valor presente neto de S/. 4,000.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Radiación solar**

El espectro de radiación electromagnética que emana el Sol se conoce como radiación solar. A través del Sol se libera esta energía a la atmósfera. Al igual que un cuerpo negro, el Sol irradia energía desde el espectro infrarrojo hasta el ultravioleta a una temperatura media de 6000 Kelvin, de acuerdo con la ley de Planck. Como las longitudes de onda ultravioleta son tan breves y son absorbidas por las moléculas atmosféricas, no todas llegan a su destino. La irradiancia

alcanzada en la Tierra, se utiliza para estimar la magnitud de la radiación solar,  $W/m^2$  es su unidad de medida (Heredia & Sánchez, 2017).

Los componentes de la radiación solar son los siguientes, según Jara (2021):

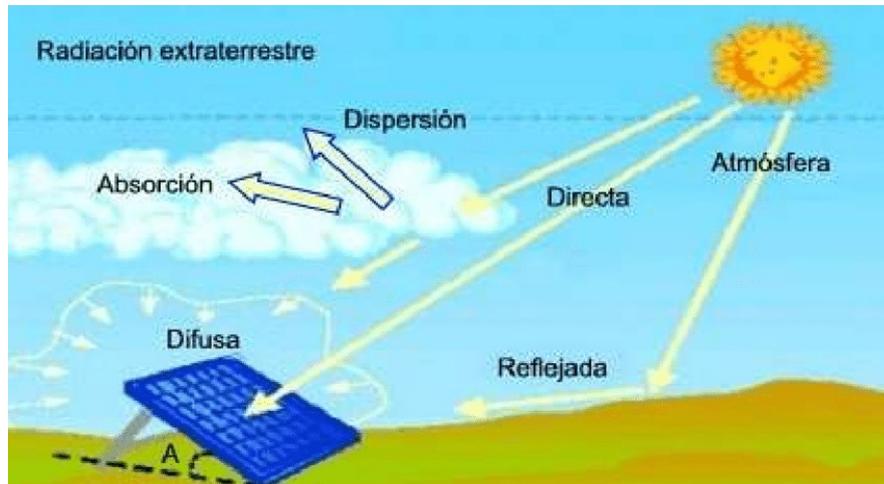
- Radiación directa: magnitud de radiación solar que ingresa directamente a la superficie terrestre sin ser disipada.
- Radiación difusa: toda aquella radiación que, en base a mecanismos previamente investigados, es dispersada por la atmósfera terrestre. El origen de los rayos solares determina el tipo de radiación que se produce.
- Radiación de albedo: Se denomina así a la radiación solar que se refleja en la Tierra. Suele ser muy escasa y, en algunas circunstancias, incluso nula.

La radiación global es el resultado de la combinación de tres componentes (radiación directa, difusa y albedo).

El trayecto que debe desplazarse la radiación a través de la atmósfera determina su dispersión. Normalmente, esta longitud se contrasta con un recorrido vertical que está exactamente por encima del nivel del mar, lo que se conoce como masa de aire = 1 (AM 1). Como resultado, cuando el Sol está encima, la masa de aire a elevada altitud será menor que la unidad, y cuando el Sol no lo está, la masa de aire será a menudo más elevada que la unidad. La intensidad de la radiación global suele disminuir en AM 1 de  $1368 W/m^2$  en la zona más alta de la atmósfera es de  $1000 W/m^2$  a nivel del mar después de tener en cuenta la absorción.

## Figura 1

### Componentes de la radiación solar



Nota. Obtenido de (Jara H. , 2021)

### 2.2.2. Energía solar

Es la energía generada por el sol que alcanza a la Tierra a través de la radiación. A través de numerosas tecnologías que se han desarrollado a lo largo del tiempo, el hombre pretende extraer de forma eficiente esta energía renovable para su consumo y aprovechamiento (Cardenas, 2021).

El cambio de la radiación solar en energía eléctrica se nombra como energía solar o fotovoltaica. Los paneles solares son la clase de artefactos que realizan esta transición. La radiación solar en los paneles fotovoltaicos estimula los electrones de un mecanismo conductor, produciendo una mínima variación de potencial. Estos dispositivos pueden tener diferencias de potencial mayores debido a su conexión en serie (Carmona *et al.*, 2016).

Numerosas corrientes de investigación están produciendo resultados alentadores sobre el empleo de la energía solar, principalmente en forma de paneles solares, en términos de incremento de la producción y la eficiencia. El uso

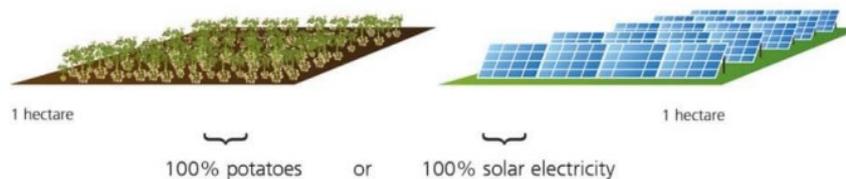
de sistemas "Agrivoltaicos", que resume el estudio de la agricultura en conjunción con paneles solares (agricultura + fotovoltaica = Agrivoltaicos), es uno de los más cruciales (Munive & Pereira, 2022).

Investigaciones recientes sobre sistemas agrivoltaicos sugieren que las granjas solares son un complemento ideal para cultivos como frutas, verduras, legumbres y tubérculos, ya que no solo comparten luz y tierra, sino que también producen operaciones mutuamente beneficiosas que son más eficientes (Cely *et al.*, 2018).

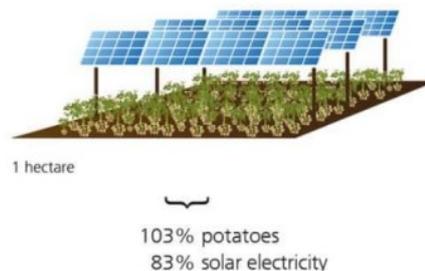
## Figura 2

### Combinación de 2 sistemas en uno solo

Separate Land Use on 1 Hectare Cropland: 100% Potatoes or 100% Solar Electricity



Combined Land Use on 1 Hectare Cropland: 186% Land Use Efficiency



Nota. Obtenido de (Munive & Pereira, 2022)

### 2.2.3. Sistemas fotovoltaicos

Un conjunto de aparatos denominado sistema fotovoltaico utiliza la energía solar para crear energía eléctrica (Vargas T. , 2021).

**Sistema fotovoltaico directo:** incluye un controlador de voltaje para la seguridad del equipo y un conjunto en serie o paralelo de paneles solares que proporcionan la electricidad necesaria (Chandel & Naik, 2015).

### Figura 3

*Componentes de la radiación solar*



*Nota.* Obtenido de (Jara H. , 2021)

**Sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía:** Un kit que incluye paneles solares, un inversor de potencia, un controlador del voltaje, baterías, y cualquier cable que el sistema necesite es todo lo que conforma un módulo fotovoltaico con almacenamiento de energía.

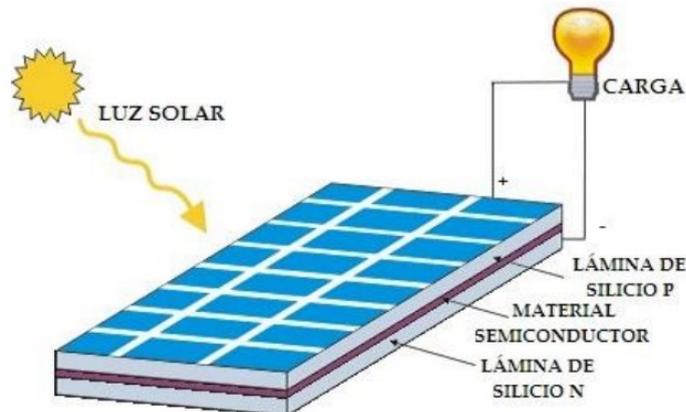
#### a) Paneles solares fotovoltaicos

La parte más fundamental y significativa de los sistemas fotovoltaicos son los paneles solares. Son los encargados de utilizar el efecto fotoeléctrico para convertir la energía que absorben del sol en electricidad. Los materiales semiconductores constituyen la mayor parte de estos componentes. Las células fotovoltaicas, que son módulos diminutos con conexiones eléctricas entre ellos,

componen los paneles. Se apoyan en un marco de aluminio (Munive & Pereira, 2022). Existen tres tipos de paneles: amorfos, policristalinos y monocristalinos.

#### Figura 4

*Esquema de funcionamiento de un panel solar*



*Nota.* Obtenido de (Valero, 2018)

#### b) Baterías o acumuladores

La finalidad de los acumuladores, también conocidos como baterías, es almacenar la energía química derivada por los paneles solares. Están formados por celdas electroquímicas sumergidas en un electrolito conductor y conectadas en serie. La capacidad de almacenamiento es el factor más relevante a la hora de optar por baterías. Para cuantificarla se suelen utilizar los amperios hora (Ah) (Munive & Pereira, 2022).

En comparación con las baterías tradicionales, este tipo de baterías (solares) pueden someterse a más ciclos de carga y descarga. Estas baterías también ofrecen una serie de ventajas, como la ausencia de costes de mantenimiento y la posibilidad de cambiar de posición cuando sea necesario (Munive & Pereira, 2022).



#### **2.2.4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos**

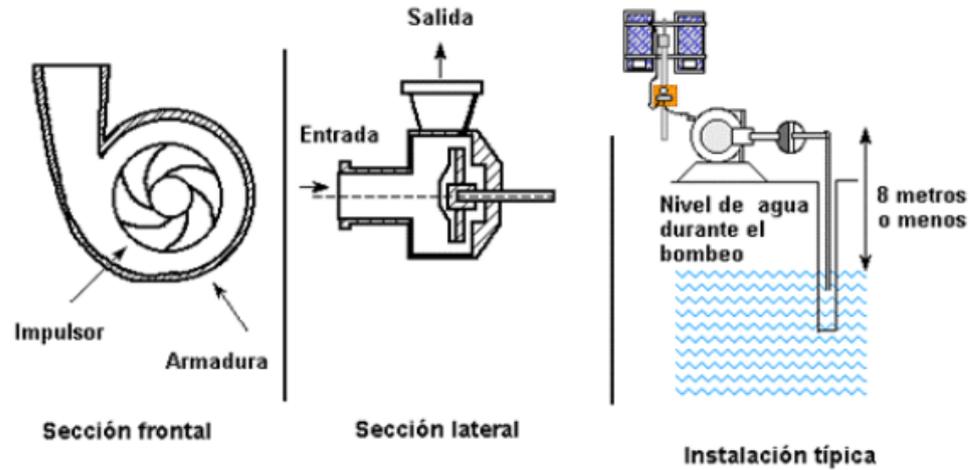
Las bombas habituales que se venden hoy en día se diseñaron pensando en un suministro de energía constante. En cambio, la potencia producida por los módulos fotovoltaicos está directamente relacionada con la cantidad de radiación solar presente. Es decir, la electricidad suministrada por los módulos varía con la posición del sol durante el día y, en consecuencia, también lo hace la potencia suministrada a la bomba. Ante ello, se tienen construido bombas especializadas para la energía solar. Estas bombas pueden clasificarse como volumétricas o centrífugas en función de su constitución mecánica (Vilca, 2021).

##### **2.2.4.1. Bombas centrífugas**

Presenta un impulsor que arrastra el agua por su eje y la excluye radialmente utilizando la potencia centrífuga de su elevada velocidad. Según la cantidad y la clase de impulsores, estas bombas, que pueden ser de superficie o sumergibles, pueden bombear agua a una carga dinámica total de 60 metros o superior. Están diseñadas para funcionar dentro de un intervalo específico de cargas dinámicas, y el caudal de agua aumenta con la velocidad de rotación de la bomba (Arhuire & Hanco, 2020).

**Figura 5**

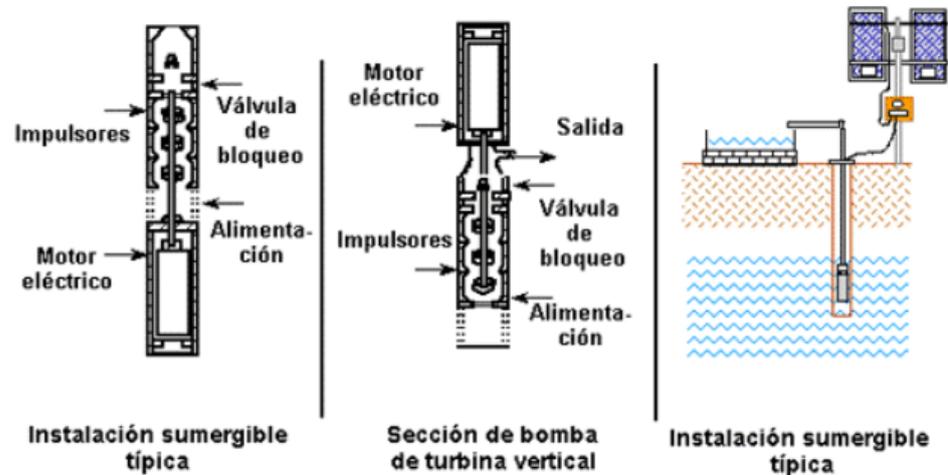
*Esquema de una bomba centrífuga superficial.*



*Nota.* Obtenido de (Vilca, 2021)

**Figura 6**

*Esquema de una bomba centrífuga sumergible.*



*Nota.* Obtenido de (Vilca, 2021)

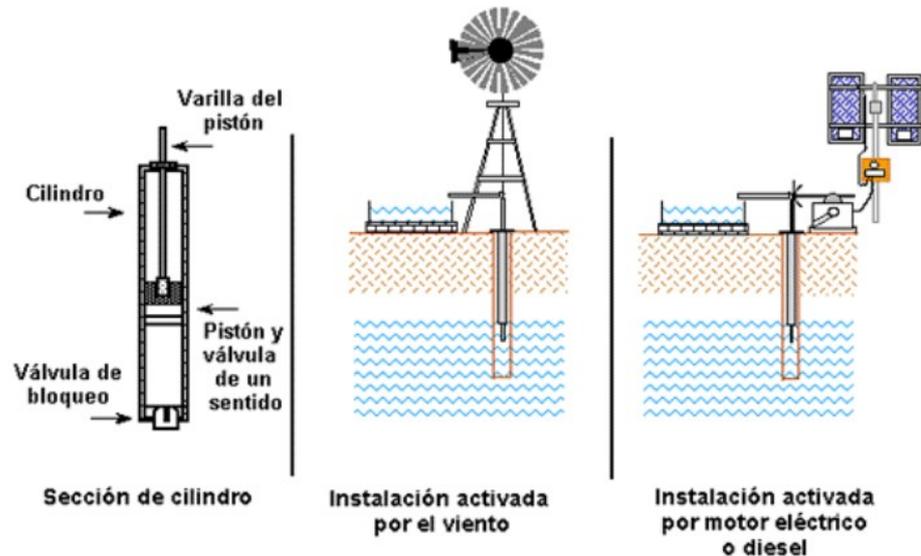
#### 2.2.4.2. Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas son apropiadas para aplicaciones que requieren grandes profundidades o bajos caudales. Algunas de estas bombas transportan agua mediante una cámara sellada y un cilindro con un pistón. A medida que aumenta la radiación solar, asimismo lo hace la

velocidad del motor, lo que incrementa el caudal de agua a bombear (Rondan, 2016).

**Figura 7**

*Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.*



*Nota.* Obtenido de (Vilca, 2021).

### 2.2.4.3. Bombas de cilindro

En las ejecuciones de bombeo mecánico impulsadas por el viento, la tracción humana o animal, las bombas de cilindro han demostrado ser bastante famosas. Según su teoría, el agua del pozo ingresa en la cavidad del pistón cada vez que éste desciende, y el agua es forzada a salir a la superficie cuando el pistón sube. Sólo utiliza la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento durante una porción del ciclo de bombeo. Para beneficiarse al máximo la potencia del conjunto fotovoltaico, las bombas de esta clase deben ir acopladas a un regulador de corriente (Vilca, 2021).

#### 2.2.4.4. Bombas de diafragma

Estas bombas utilizan diafragmas compuestos de un material elástico y flexible para mover el agua. Normalmente, los diafragmas de caucho se refuerzan con insumos sintéticos. Hoy en día, estos materiales son bastante duraderos y, dependen de la calidad del agua, pueden soportar de 2 a 3 años de uso continuado antes de necesitar ser sustituidos. Los constructores de estas bombas ofrecen un conjunto de diafragmas de recambio a un precio accesible. Existen versiones tanto de superficie como subacuáticas (Vilca, 2021).

**Tabla 1**

*Principales características de las bombas fotovoltaicas.*

Bombas fotovoltaicas	Características y ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	<ul style="list-style-type: none"><li>• De fácil acceso.</li><li>• Capaz de soportar modestas acumulaciones de arena.</li><li>• El agua es un lubricante que puede emplear.</li><li>• Poseer motores de corriente continua o alterna con velocidades variables.</li><li>• Manejar caudales elevados.</li><li>• Funcionar con cargas dinámicas pesadas.</li><li>• Ser de naturaleza modular, lo que permite añadir módulos solares para producir más agua.</li><li>• Ser fácilmente accesibles.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• En términos de CDT, su rango de eficiencia es limitado.</li><li>• Cuando se agotan, se destruyen.</li><li>• Hay que sacarlos para su mantenimiento.</li><li>• Cuando se colocan en entornos corrosivos, experimentan un mayor desgaste.</li><li>• En relación con el CDT, su rango de eficiencia es limitado.</li></ul>

---

Centrífugas de succión superficial	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soportar acumulaciones modestas de arena.</li><li>• Al ser poco profundas, son fáciles de usar y mantener.</li><li>• Disponer de motores de corriente continua o alterna con velocidades variables.</li><li>• Gestionan caudales elevados.</li><li>• Manejan cargas dinámicas pesadas, aunque no pueden aspirar más de ocho metros.</li><li>• Tienen una capacidad de carga dinámica muy elevada.</li><li>• La carrera del pistón puede modificarse para alterar el caudal.</li><li>• Trabajan con cargas no superiores a cuarenta metros.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cuando se colocan en ambientes corrosivos, experimentan un mayor desgaste.</li><li>• En climas fríos, la congelación puede causar daños.</li></ul>
Desplazamiento positivo de pistón		<ul style="list-style-type: none"><li>• No soportan el limo ni la arena.</li></ul>
Diafragma	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tienen un coste muy bajo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No soportan cargas dinámicas profundas.</li><li>• Caudales mínimos.</li></ul>

---

*Nota.* Obtenido de (Vilca, 2021).

### 2.2.5. Bombeo con energía solar fotovoltaica

Según Heredia & Sánchez (2017), afirman que existen dos opciones de sistemas de bombeo fotovoltaico:

- a) Bombeo solar directo: En el que el agua se toma de un pozo sólo cuando hay radiación solar, y luego se acopia en un depósito para eliminar la necesidad de baterías.



- b) **Bombeo con baterías:** Instalado durante las horas en que no hay sol, este método se utiliza cuando se requieren requisitos exactos de extracción de agua y un suministro fiable.

#### 2.2.5.1. Conducción de agua por bombeo o impulsión

En una estructura de flujo presurizado en la que una bomba proporciona la energía necesaria para la circulación del agua, el dispositivo de bombeo aportará la fuerza suficiente para superar las pérdidas locales y las causadas por fricción, así como la diferencia de nivel en el lugar de succión y el lugar de descarga de la tubería de impulsión (Meneses, 2013).

#### 2.2.5.2. Calculo hidráulico

En el diseño hidráulico se tienen presente los distintos tamaños, longitudes, presiones, caudales, y velocidades de las tuberías del sistema. En este paso se añaden las opciones del agricultor y las condiciones técnicas y económicas a los datos calculados en el paso anterior (Palomino, 2016).

- a) **Línea de impulsión-** El consumo máximo diario, dispersado según el horario más adecuado, es el flujo de la línea de impulsión (Arizaca, 2022).

$$Qb = \frac{Vta}{T}$$

**Donde:**

***Vta***: Volumen del tanque

***Qb*** : Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)



**T**: Tiempo

Se utiliza la ecuación de Bresse para determinar el diámetro más óptimo para el cálculo del diámetro de impulsión se emplea lo siguiente (Arizaca, 2022).

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb}$$

**Donde:**

**X** : Horas a bombear durante un día

**Qb** : Caudal de bombeo

**b) Perdida de carga en las tuberías-**. Para calcular las pérdidas por fricción se emplea la formula de Hazen-Williams (Arizaca, 2022):

$$hf = \frac{10.67}{D^{4.87}} = \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852}} L$$

**Donde:**

**hf** : Perdida de fricción (m/m)

**Q** : Caudal

**C** : Coeficiente de Hazen-Williams

**d** : Diámetro de tubería (m)

**c) Altura hidraulica de bombeo-**. Según Arizaca (2022), la altura hidrodinámica total, también conocida como altura hidráulica de bombeo, se define como el aumento total de la carga de caudal mediante la bomba:

$$HDT = Hs + Hi + \Sigma hfs + \Sigma hfi + \frac{v^2}{2g} + Ps$$

**Donde:**



- HDT*** : Altura hidrodinámica total
- Hi*** : Altura de la tubería de impulsión (m)
- Hs*** : Altura de la tubería de succión (m)
- $\Sigma h_{fi}$**  : Pérdida de carga de la tubería de impulsión
- $\Sigma h_{fs}$**  : Pérdida de carga de la tubería de succión
- g*** : Gravedad de la tierra (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- V*** : Velocidad del flujo de agua (m/s)
- Ps*** : Presión de salida de agua (1mca)

## 2.2.6. Condiciones para la generación de energía eléctrica empleando paneles solares

### 2.2.6.1. Inclinación y orientación.

La eficiencia del generador solar viene determinada por la dirección y el ángulo de inclinación que crean los módulos con el plano horizontal. Los módulos deben estar inclinados de forma que, al mediodía, la radiancia del sol pueda ser captados en su superficie perpendicularmente; el uso del generador fotovoltaico determinará el ángulo de inclinación de los paneles (Hospital & González, 2021).

El ángulo ideal para el panel solar es igual a la latitud del lugar más 10 ó 15 grados, lo que lo sitúa en una buena posición para el invierno y permite una ligera pérdida de energía en verano. Si se presente de sistemas de inclinación variable, los paneles solares fotovoltaicos deben orientarse hacia el sol en base a la hora del día, el mes y el lugar. La orientación más adecuada para la región se selecciona cuando los paneles son permanentes: una orientación promedio (Pedraza, 2020).

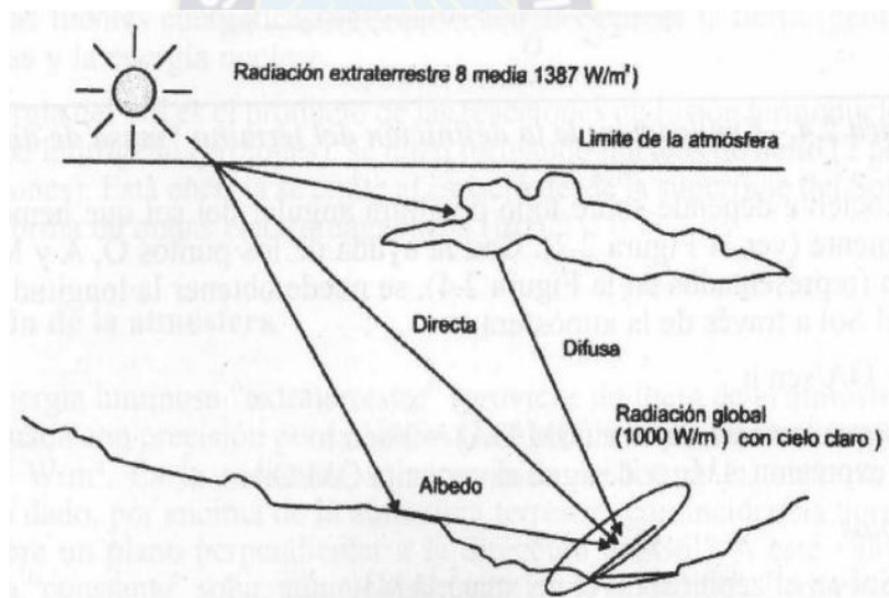
Según Vargas (2018), el ángulo de inclinación ideal para los paneles en el altiplano es de  $30^\circ$  cuando están orientados hacia el norte.

### 2.2.6.2. Radiación directa y difusa

La radiación que se produce de manera directa del sol es la que se refleja en los espejos y es paralela entre sí, formando sombras y no diluida por la atmósfera. La luz que ha sido dispersada por el entorno (aire, aerosoles, nebulosas) se conoce como radiación difusa. Un as paralelo puede difundirse, o esparcirse, en un gran número de ases en todas direcciones. Esta fragmentación de la radiación solar se produce en el área debido a las moléculas de aire, polvo y gotitas (nubes) (Vargas B. , 2018).

### Figura 8

*Radiación solar directa y difusa*



Nota. Obtenido de (Vargas B. , 2018)

### 2.2.6.3. Altitud, albedo y otros factores

Como las zonas altas están por encima de la nubosidad, reciben más radiación solar que las que están a nivel del mar. Además, al estar a



mayor altura, hay menos nubosidad en las zonas altas. La radiación solar también está influenciada por el albedo (Arceda & Hernandez, 2021).

En invierno, las nevadas tienen un impacto significativo en la reflexión del suelo, como lo indica el coeficiente de albedo del suelo, que aumenta significativamente; además existe una relación de uno a cuatro entre un suelo cubierto de nieve fresca y otro cubierto de maleza, hierba u ordinario (Vargas B. , 2018).

#### **2.2.6.4. Sombras y reflejos**

Los paneles solares deben colocarse en una zona despejada y libre de sombras, ya que éstas impiden su correcto funcionamiento. Incluso un panel parcialmente sombreado puede perjudicar a todo el sistema, ya que el calentamiento de la célula se produce al circular la energía eléctrica. La altura de los paneles no debe estar a más de 20° de la línea del módulo solar para garantizar que nada bloquee el flujo de luz a los paneles. Por lo tanto, se debe evaluar y, si hay algún efecto desfavorable, se deben hacer cambios (Vargas B. , 2018).

#### **2.2.6.5. Condiciones climatológicas**

Es importante tener presente las condiciones climáticas a la hora de dimensionar los paneles solares. Por lo tanto, la radiación media del lugar debe conocerse, si no con precisión, hasta que se construyan sistemas fotovoltaicos extremadamente grandes (Mejía, 2019).

Conocer la magnitud de radiación solar utilizable en el plano de los paneles solares en el sitio de instalación es esencial para diseñar sistemas



fotovoltaicos. Un hallazgo crucial del estudio anterior fue que, para una cantidad dada de potencia consumida, la instalación de más paneles solares necesitaría menos energía solar, y viceversa (Xue, 2017).

Los valores instantáneos y acumulados de insolación son las dos formas diferentes. Los promedios mensuales de la energía solar diaria en la zona son la base de la segunda, que se basa en los valores diarios de radiación instantánea (Vargas B. , 2018).

Para cuantificar la radiación solar se necesita el solarímetro, una herramienta que mide tanto la radiación difusa como la directa. Si bien el cálculo de la radiación en un momento específico puede ser útil para entender el funcionamiento del sistema, es preferible conocer la radiación en un periodo de tiempo mayor, ya que esto permite tener una perspectiva a más largo plazo de cómo funciona el sistema en el transcurso de un año o varios meses, permitiendo monitorear el comportamiento del sistema a lo largo del año (Herrera & Vera, 2020).

#### **2.2.6.6. Polvo y suciedad**

Las pérdidas de polvo y suciedad pueden medirse visualmente o mediante mediciones precisas; dependen de la ubicación de la instalación y de la periodicidad de las precipitaciones. Para superficies con un grado de suciedad importante, los valores anuales típicos son inferiores al 4% (Jiménez, 2021).



#### **2.2.6.7. Pérdidas de conexionado**

Son las pérdidas de energía que se originan al unir módulos solares con potencias algo diferentes para crear un generador solar. Esto ocurre cuando se conectan en serie dos módulos con corrientes diferentes; el módulo con la corriente más baja restringirá la corriente en serie. La tensión de los módulos conectados en paralelo experimenta una situación similar. Como suele ocurrir, la potencia total de todos los módulos individuales que componen un generador solar es superior a la potencia del propio generador. Esto se aminora utilizando diodos de bypass e instalando las potencias de los módulos fotovoltaicos de forma organizada (Gualancañay & Jaguaco, 2017).

#### **2.2.6.8. Perdidas angulares y espectrales**

La irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> y la temperatura de la celda de 25 °C utilizadas para las mediciones STC estándar de los módulos fotovoltaicos indican una incidencia normal y un espectro estándar. Por otro lado, ni la incidencia de la radiación ni el espectro son normales a lo largo del periodo de funcionamiento típico de un módulo fotovoltaico. Según Caicedo (2019), se producen pérdidas adicionales cuando la radiación solar impacta sobre una superficie de una celda fotovoltaica en un ángulo distinto de 0°. Estas pérdidas también aumentan a medida que aumenta el grado de suciedad.

Además, la corriente producida varía en base a la longitud de onda de la energía solar entrante. La reacción de las células fotovoltaicas puede verse afectada por las variaciones del espectro solar a lo largo del tiempo



en relación con el espectro normalizado, lo que provoca ganancias o pérdidas de energía (Llanca, 2021).

## **2.2.7. Componentes de los sistemas fotovoltaicos**

### **2.2.7.1. Celda fotovoltaica**

La celda fotovoltaica es el componente fundamental de un sistema solar. Son aparatos eléctricos que emplean el efecto fotovoltaico para transformar la luz solar en corriente eléctrica continua. El silicio constituye la mayor parte de sus componentes (Díaz, 2018).

### **2.2.7.2. Un módulo o panel**

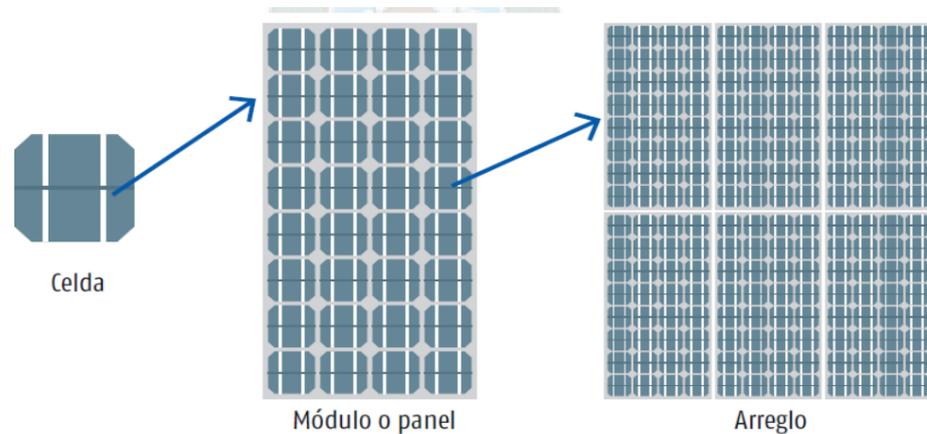
La celda fotovoltaica es el componente fundamental de un sistema solar. Son dispositivos eléctricos, en su mayoría de silicio, que emplean el efecto fotovoltaico para transformar la luz solar en corriente eléctrica continua (Maraví, 2018).

### **2.2.7.3. Arreglo**

Se trata de un conjunto de paneles montados sobre un bastidor de montaje y acoplados para crear los valores de corriente y tensión necesarios (Cabrera, 2019).

## Figura 9

### Celda, Panel y Arreglo fotovoltaico



*Nota.* Obtenido de (Vargas B. , 2018)

Estas bombas mueven el agua mediante diafragmas fabricados con un elemento flexible y duradero. Normalmente, los diafragmas están hechos de caucho recubierto con material sintético. Hoy en día, estos elementos son bastante resistentes y logran aguantar hasta 2 o 3 años de uso continuado antes de tener que cambiarlos, en base a la calidad del agua. Los productores de dichas bombas ponen a la venta un juego de diafragmas de recambio a un precio competitivo. Existen variantes tanto de superficie como subacuáticas (Cabrera, 2019).

### 2.2.8. Componentes de los sistemas fotovoltaicos

Vargas (2018), afirma que el voltaje requerido por el sistema se puede lograr conectando entre sí los módulos o baterías, cada uno de los cuales tiene un valor de voltaje o amperaje:

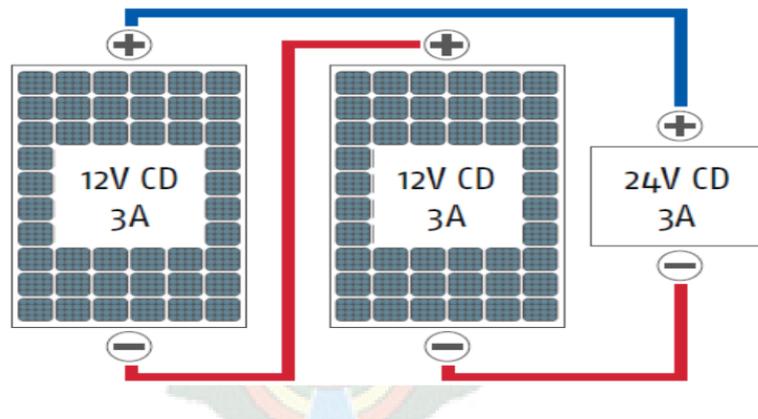
### 2.2.8.1. Circuito en serie

Se crea cuando se unen los terminales positivos (+) de dos módulos con los terminales negativos (-) del otro para elevar el voltaje; una conexión en serie no eleva el amperaje o corriente generada (Chozo, 2019).

Ejemplo: Cuando se enlazan en serie dos paneles de 12 V y 3 A y se necesita un conjunto de 24 V y 3 A, se suma la potencia.

**Figura 10**

*Circuito en serie*



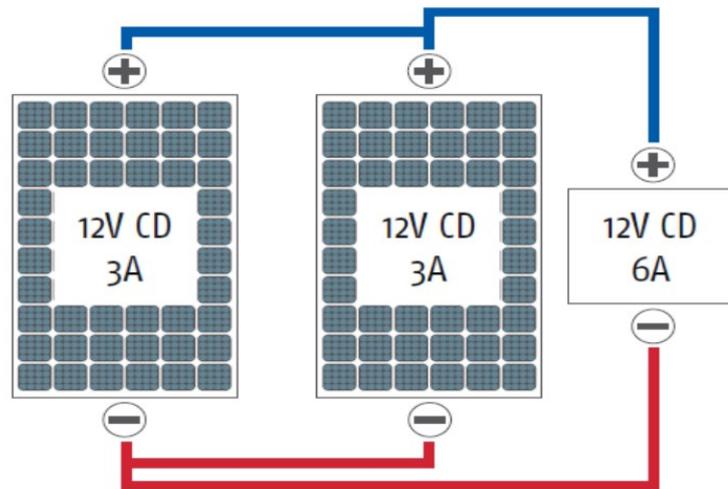
*Nota.* Obtenido de (Vargas B. , 2018)

### 2.2.8.2. Circuito en paralelo

Los terminales de los módulos se conectan positivamente (+) a positivo (+) y negativamente (-) a negativo (-). La tensión entregada al circuito se mantiene constante cuando las fuentes se enlazan en paralelismo porque las cargas se unen; además se emplea para elevar el amperaje o corriente del sistema. (Trillo, 2019).

**Figura 11**

*Circuito en paralelo*



*Nota.* Obtenido de (Vargas B. , 2018)

### 2.2.8.3. Circuito en serie y en paralelo.

Los circuitos logran alcanzar los voltajes y corrientes requeridos utilizando una mezcla de conexiones en serie y paralelo (Vargas B. , 2018).

En la figura 12, muestra una conexión serie-paralelo entre 4 módulos de 12V y 3A. El voltaje se incrementa a 24V conectando los módulos en serie de dos en dos. Cuando todas las tiras se unen en paralelo, la corriente puede alcanzar los 6 A. Un sistema con 24V CC y 6A es el resultado final (Vargas B. , 2018).

**Figura 12**

*Circuito en serie y en paralelo*



*Nota.* Obtenido de (Vargas B. , 2018)

## 2.2.9. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo de agua

### 2.2.9.1. Cálculo de la potencia del generador.

Davalos (2019), afirma que la ecuación que sigue se utiliza para obtener la potencia total del generador:

$$P_g = f.s * \frac{E_{Pot.Max.diaria}}{0.9 * HPS * Kt}$$

**Donde:**

$P_g$ : Potencia del generador (W)

$E_{Pot.Max.diaria}$ : Potencia máxima diaria (Wh/día)

$Kt$ : Factor por utilizar inversor o inversor más baterías

$HPS$ : Hora sol pico

$f.s.$ : factor de seguridad.

20% debe ser el factor de seguridad en caso de sobrecalentamiento. Considerando las indicaciones del IDAE, los  $Kt=0,7$  y  $Kt=0,6$ , respectivamente, corresponden a sistemas de bombeo hídrico que emplean

un inversor y baterías. Sin embargo, dado que la motobomba funciona como un motor de CC,  $KT = 1$ .

### 2.2.9.2. Cálculo del número de Paneles

El siguiente método para determinar la cantidad de paneles debe utilizarse para elegir paneles solares de una potencia a tener en cuenta en el diseño del sistema (Davalos, 2019).

$$CP = \frac{WpB}{WpPS}$$

Donde:

$WpPS$  : Cantidad de Watio pico fijado en el panel solar

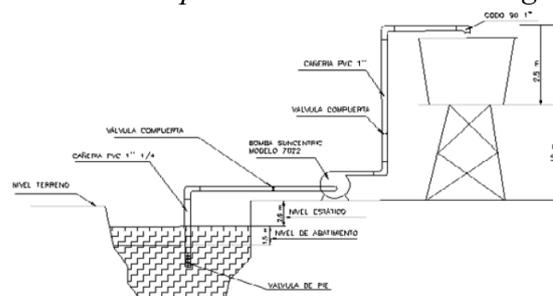
$WpB$  : Cantidad de Watio pico necesario por la bomba

### 2.2.9.3. Almacenamiento de energía

El comprador debe definir la cantidad precisa de capacidad de acumulación de la batería, basándose en la potencia fijada del conjunto fotovoltaico computado, para estimar la cantidad de energía que logra almacenarse en una batería (Davalos, 2019).

Figura 13

*Sistema de Impulsión de un sistema de agua para riego*



Nota. Obtenido de (Valero, 2018)



## 2.2.10. Sistemas de riego

Según Arizaca (2022), un sistema de riego consiste en un grupo de piezas que transportan el agua desde una fuente hasta una superficie y la dispersan por todo lado. El sistema de producción agrícola bajo riego, la organización responsable del mantenimiento, gestión y la infraestructura constituyen los tres componentes del sistema. Para que los proyectos de regadío estén altamente cohesionados y sean funcionales, estos tres elementos deben estar presentes.

### 2.2.10.1. Componentes del sistema de riego

Arizaca (2022), por ejemplo, enumera los componentes del sistema de riego.

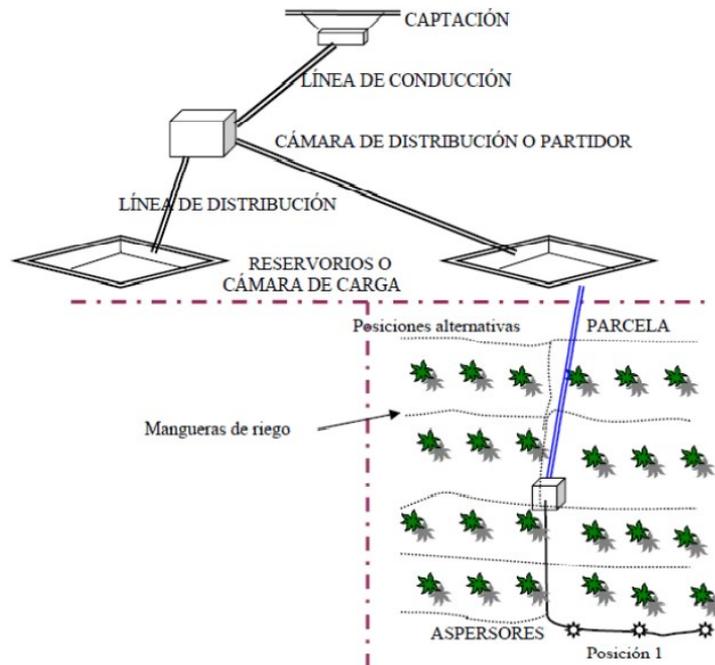
- a) **Captación-**. Este sistema hidráulico está diseñado para redirigir el agua de manantiales, acequias u otras fuentes hacia una superficie de tierra.
- b) **Línea de conducción o impulsión-**. Dispositivo hidráulico que dirige el agua hacia la tierra desde arroyos, manantiales u otras fuentes.
- c) **Reservorio-**. El reservorio sirve de regulador entre el caudal establecido que la zona de riego utiliza para sus operaciones de aspersión y el caudal que el sector obtiene de la tubería. El reservorio absorbe cualquier posible desequilibrio entre ambos. Así mismo funciona como cámara de carga, produciendo un esfuerzo continua para el sistema.



- d) **Red de distribución-**. Son las tuberías o conductos abiertos que suministran el caudal del sistema a los distintos sectores de irrigación. En los sistemas conectados por tubos se logran utilizar obras adicionales como válvulas de aire, válvulas de purga, válvulas de control y cámaras rompepresión.
  
- e) **Válvula de control-**. Las válvulas de control son accesorios que sirven para abrir y cerrar, control del paso del agua y controlar el suministro del sistema. Están situadas al ingreso de las redes primarias y secundarias. Otras válvulas se colocan convenientemente en las redes primaria y secundaria para salvaguardar el sistema de riego en caso de avería o preservación.
  
- f) **Línea de riego-**. Las líneas de riego móviles reciben el caudal de riego a presión de la línea de riego permanente, que suministra el agua por el area de riego a través de los hidrantes. Está constituida por tuberías subterráneas de PVC con tamaños determinados para que logre una presión adecuada para cada aspersor del hidrante.

**Figura 14**

*Sistema de riego*



*Nota.* Obtenido de (Arizaca, 2022)

## 2.2.11. Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego

### 2.2.11.1. Topografía de terreno del lugar

Para conocer la superficie, forma, pendientes, posición y elevaciones del pozo donde se situará el equipo de bombeo, necesariamente es necesario saber la pendiente de la región donde se erigirá el sistema de irrigación. Esto con el fin de determinar la carga hidráulica total que necesitará dicho sistema (Jara & Ramos, 2018).

### 2.2.11.2. Contenido de agua en el suelo

En los sistemas de drenaje y ondulación, resulta especialmente práctico transmitir la cantidad de agua del suelo en terminologías de altura o capa de agua, simplemente siendo el volumen por unidad de area. Las

unidades más comunes son mm y m<sup>3</sup>/ha, y su relación es la siguiente (Arizaca, 2022).

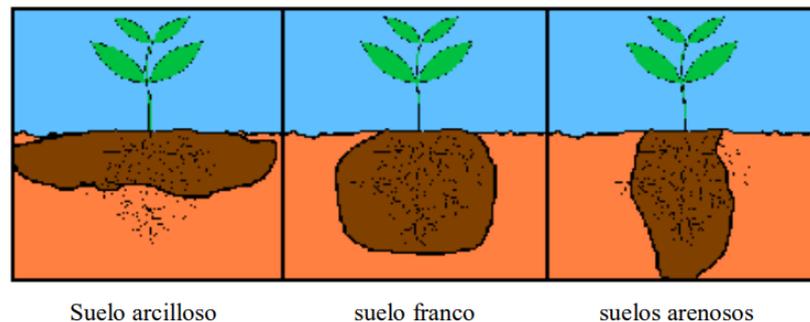
$$1\text{mm} = \frac{10\text{m}^3}{\text{ha}}$$

### 2.2.11.3. Tipo de suelo

Saber en qué tipo de suelo se producen los cultivos debe considerarse un conocimiento fundamental, ya que será importante conocer cuánta agua necesitan las plantas para desarrollarse adecuadamente (Gorka, 2012).

### Figura 15

*Tipos de suelo*



*Nota.* Obtenido de (Arizaca, 2022)

### 2.2.11.4. Densidad aparente de suelo

Su valor puede alcanzar 1,5 o más en los horizontes B, mientras que suele oscilar entre 1 y 1,25 en los horizontes A. Su valor permite determinar equivalencias entre las relaciones masa/superficie -que se emplean en la aplicación de aditivos para remediar las deficiencias del suelo- y las relaciones masa/masa, que constituyen el método estándar de evaluación de las características del suelo (Jara & Ramos, 2018).

**Tabla 2***Densidad aparente de tipos de suelo*

<b>TEXTURA</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (G/CM3)</b>
Arenoso	1.13
Franco Arcilloso	1.58
Franco Arenoso	1.42
Arcilloso	2.23
Franco	1.58

*Nota.* Obtenido de (Jara & Ramos, 2018)**2.2.11.5. Capacidad de Campo**

Es el contenido de humedad del suelo tras la eliminación del agua sobrante y una ralentización significativa del ritmo de disminución. En el laboratorio, se ha demostrado que cuando un suelo alcanza su capacidad de campo, el contenido de agua se mantiene en su lugar por una tensión de aproximadamente un tercio de una atmósfera (Ramos & Luna, 2014).

**Tabla 3***Valores normales de Capacidad de Campo*

<b>TEXTURA</b>	<b>CAPACIDAD DE CAMPO (%)</b>
Arenoso	12
Franco Arcilloso	31
Franco Arenoso	16
Arcilloso	48
Franco	41

*Nota.* Obtenido de (Ramos & Luna, 2014)

### 2.2.11.6. Punto de Marchitez permanente del suelo

Se refiere a la cantidad de humedad del suelo a partir de la cual las plantas se marchitan permanentemente. La cantidad de agua retenida en el suelo disminuye debido a la evaporación y a la extracción de las raíces si el suelo no accede aportes de agua fresca. Finalmente, este nivel alcanza un punto en el que las raíces son incapaces de succionar agua del suelo (Ramos & Luna, 2014).

**Tabla 4**

*Valores normales de Coeficiente de Marchitez*

TEXTURA	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (%)
Arenoso	5
Franco Arcilloso	17
Franco Arenoso	7
Franco	13
Arcilloso	19

*Nota.* Obtenido de (Ramos & Luna, 2014)

### 2.2.11.7. Diseño agronómico

Una parte crucial de los sistemas de riego es el diseño agronómico, que es la operación para asegurar que la red hidráulica del sistema pueda suministrar al cultivo el agua que requiere durante su periodo de mayor consumo y, al mismo tiempo, aplicar eficientemente la cantidad de agua necesaria para humedecer la superficie de suelo requerida para el desarrollo bifásico del cultivo (Palomino, 2016).



- Se calculan los requerimientos hídricos de las plantas, que es la magnitud de la cantidad de agua que requieren para reponer la que pierden por evapotranspiración y la que almacenan. Para construir sistemas de captación, distribución y aplicación de agua, es vital conocer estas demandas a fin de planificar cuánta agua se puede regar y durante cuánto tiempo. En general, la evapotranspiración es la evaporación de una planta herbácea con suelo bien hidratado de una región cubierta.
- Calcular la dosis, la frecuencia y la duración del riego: la cantidad de agua requerida para el riego suele indicarse en términos de una unidad de tiempo para cada lámina de agua. Supongamos mm/día. Un factor importante en el diseño del sistema de riego es la estimación de la cantidad de agua que tiene que emplearse durante el ciclo del cultivo, o más exactamente, la demanda máxima para el dimensionamiento de la red hidráulica en situaciones críticas. un desconocimiento de los requerimientos hídricos de la agricultura en periodos de alta demanda. Existe una correlación directa entre la lámina de riego y el intervalo de riego. A medida que aumenta la frecuencia, el intervalo de riego se vuelve breve. Se necesita menos lámina de riego, ya que los cultivos considerados consumen menos agua en menos tiempo.

a) Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)

Es la evapotranspiración de un cultivo de referencia que tiene lugar sin necesidad de agua; siendo que la superficie de referencia equivale a un cultivo de hierba de crecimiento ideal, bien irrigado y de altura uniforme.



Los parámetros climáticos (humedad relativa, temperatura, viento, radiación solar, horas de sol, entre otros) son los únicos componentes que influyen en la ETP; no se tienen en cuenta las especificaciones del cultivo ni las condiciones del suelo (Arizaca, 2022).

- Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

Existen algunas formas para calcular la evapotranspiración de referencia, pero la técnica de **Penman-Monteith** es la más representativa porque las otras aproximaciones empíricas tienen errores importantes que hacen que la demanda hídrica esté sobreestimada o subestimada (Llatas, 2018).

- Método de Penman-Monteith-. La fórmula original de Penman-Monteith puede utilizarse para desarrollar la técnica Penman-Monteith de cálculo de la ET<sub>o</sub>. Este enfoque produce resultados mundialmente más confiables utilizando datos reales de consumo hídrico de cultivos variados, reduciendo los errores del método anterior. Esta técnica se creó utilizando un cultivo hipotético para definir el cultivo de referencia (Llatas, 2018).

Para calcular la ET<sub>o</sub> se emplea la ecuación de evapotranspiración de referencia basada en la técnica de Penman-Monteith. En esta expresión se utilizan datos climáticos de velocidad del viento, humedad, temperatura y radiación solar. La información climática debe traducirse o medirse a 2 metros de altura en una superficie de hierba verde, que la cubra totalmente y sin límites de

agua, para garantizar la exactitud del cálculo. Estos datos se representan mediante la ecuación (Llatas, 2018):

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

**Donde:**

**E<sub>to</sub>** es la evapotranspiración de referencia ( $mm \text{ día}^{-1}$ )

**G** es el Flujo de calor del suelo ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ),

**R<sub>n</sub>** es la radiación neta en la superficie del cultivo ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

**u<sub>2</sub>** es la velocidad del viento a dos metros de altura ( $m \text{ s}^{-1}$ ),

**T** es la temperatura media del aire a dos metros de altura ( $^{\circ}C$ ),

**e<sub>n</sub>** es la presión real de vapor (Kpa),

**e<sub>s</sub>** es la presión de vapor de saturación (KPa),

**γ** es la constante psicrométrica ( $kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ).

**Δ** es la pendiente de la curva de presión de vapor ( $kPa \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ ) y

b) Necesidad de cálculo de la demanda de agua

Llatas (2018), afirma que una evaluación precisa de las necesidades hídricas sirve de cimiento para el diseño de sistemas de riego, que a su vez proporciona una reacción suficiente a los requerimientos hídricos de los cultivos. En última instancia, esto se verá reflejado en las cualidades estéticas que mostrará la zona impactada.

Según la FAO (2007), la **evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>)** se denomina a veces **evapotranspiración real**. Se trata del volumen real de agua utilizado por un cultivo concreto durante el periodo de estudio.



La expresión que determina la evapotranspiración real es:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

**Donde:**

**ET<sub>c</sub>:** Evapotranspiración de cultivo

**K<sub>c</sub>:** Coeficiente del cultivo

**ET<sub>o</sub>:** Evapotranspiración del cultivo de referencia

c) Coeficiente de Cultivo

Según Palomino (2016), representa la conexión entre la utilización consuntiva del cultivo considerado y la evapotranspiración del cultivo de referencia. En general, los cultivos anuales pasan por cuatro etapas a lo largo de su periodo vegetativo. La cifra del coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), que indica la fluctuación en la capacidad del cultivo para sustraer agua del suelo durante este tiempo, viene determinado por las propiedades únicas de la planta.

- Fase inicial: cubre el suelo desde el momento de la plantación hasta que el cultivo alcanza el 10%.
- Fase de desarrollo: Abarca el período desde que el cultivo alcanza el 10% de la cobertura del suelo hasta que finaliza el crecimiento o se alcanza una cobertura del 70% al 89%.
- Fase de media estación: desde el final del crecimiento del cultivo hasta el comienzo de su maduración.

- Fase de última estación: desde el comienzo de la maduración del cultivo hasta la cosecha o madurez completa.

**Tabla 5**

*Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego*

PASTOS	Kc ini.		Kc fin	
	H*	S*	H	S
Alfalfa	0.50	0.40	0.85	1.00
Leguminosas	0.55	0.55	1.00	1.05
Pasto bajo pastoreo	0.55	0.50	0.95	1.00
Pasto para heno	0.60	0.55	0.80	0.90

H\* = clima húmedo S\* = clima húmedo

*Nota.* Obtenido de (FAO, 2007)

d) Parámetros de riego

Jara & Ramos (2018), sugieren que los siguientes datos agrotécnicos son necesarios para adquirir parámetros de riego para su diseño y implementación de los equipos de riego:

- CC= Capacidad de campo (% en peso).
- PM= Punto de marchitez (% en peso).
- Da= Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).
- Z= longitud radicular efectiva (m).
- DT= para mejorar el balance económico (%), considerar una disminución tolerable, un déficit de gestión aceptable o un grado aceptable de agotamiento del agua del suelo.



- $E_a$ =Eficiencia de aplicación.
- $A$ =Área total de riego.
- $T_{rd}$ =tiempo de riego al día.
- $DL$ =Días libres de riego durante un ciclo de riego.

#### 1) Lámina neta de riego ( $L_n$ )

Según Llatas (2018), para calcular la lámina neta se puede utilizar la siguiente ecuación, que viene determinada por las propiedades físicas del suelo y su potencial para el almacenamiento de agua hasta la longitud radicular de la planta.

#### 2) Lámina bruta de riego ( $L_b$ )

Jara y Ramos (2018), indica que la lámina bruta se describe al volumen de agua que hay que rellenar en el transcurso de cada ciclo de riego, tomando en cuenta el control del agua del suelo, la lámina neta y la demanda de evapotranspiración durante un periodo de máxima demanda.

#### 3) Intensidad de la aplicación ( $I_a$ )

La lámina bruta de riego ( $L_b$ ), cuyo valor representa la cantidad de humedad necesaria en el tiempo para reponer la humedad que el cultivo y las condiciones ambientales han agotado. Pero como para aplicar la lámina se utiliza el sistema de riego, es importante estimar la intensidad de aplicación, que logra medirse en mm/h (Jara & Ramos, 2018).

#### 4) Tiempo de riego ( $T_r$ )



La lamina bruta prevista del riego ( $L_b$ ) y la intensidad de la aplicación ( $I_a$ ) determinarán el tiempo que tarda en completarse (Jara & Ramos, 2018).

#### 5) Volumen y Caudal de riego

La superficie regada y la lámina bruta de riego determinan el volumen de riego.

La cantidad de agua que entra o sale de un emisor en un tiempo determinado se conoce como caudal. Además de la cantidad de emisores necesarios y de la zonificación de riego, hay que conocer el caudal en la toma de agua del sistema de riego. La escala del paisaje y las necesidades hídricas de las especies cultivadas son otros factores a tener en cuenta (Llatas, 2018).

#### 6) Programación de turnos de riego

El proceso de programación de turnos implica decidir qué válvulas abrir o qué parcelas regar simultáneamente. Si el área del proyecto debe regarse por completo o si todas las válvulas están sujetas a funcionar, esta secuencia de puesta en marcha de válvulas suele especificarse en el diseño del sistema de riego. Es importante efectuar un análisis técnico de esta programación para garantizar el idoneo funcionamiento hidráulico del sistema. Caso opuesto, podrían producirse zonas de baja presión dentro del proyecto, lo que podría comprometer la uniformidad de aplicación del agua (Llatas, 2018).



## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. Energía fotovoltaica**

Mediante el uso de tecnología que esta basada en el efecto fotoeléctrico, la luz solar puede convertirse en electricidad para producir energía solar fotovoltaica. Este tipo de energía puede generarse en una gran variedad de configuraciones, desde modestos generadores de autoconsumo hasta plantas solares masivas. Es renovable, inagotable y no contaminante (AutoSolar, 2020).

### **2.3.2. Panel fotovoltaico**

Aparato que cambia la radiación solar en energía eléctrica (Barzola, 2019).

### **2.3.3. Modulo fotovoltaico**

Dispositivo sellado que contiene un conjunto de células solares enlazadas (Bustamante, 2019).

### **2.3.4. Bombeo fotovoltaico**

Sistema diseñado para bombear agua mediante paneles solares en lugares sin acceso al suministro eléctrico de la red tradicional (Heredia & Sánchez, 2017).

### **2.3.5. Watt pico**

La potencia mayor que puede producir un módulo solar fotovoltaico en circunstancias típicas de trabajo ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$  y  $1,5$  de masa de aire) es su unidad de medida (Bustamante, 2019).



### **2.3.6. Sistema de riego**

Conjunto de dispositivos que consienten cultivar una superficie determinada suministrando a las plantas la cantidad de agua adecuada; los componentes específicos varían en función de si se utiliza riego por goteo, superficial, microaspersión o aspersión (MINAGRI, 2018).

### **2.3.7. Necesidad hídrica del cultivo**

Equivale el volumen de agua que requiere el cultivo para desarrollar todo su potencial. Cuando el agua del suelo se mantiene suficientemente gracias a las precipitaciones o al riego, la producción de los cultivos y el crecimiento de las plantas no se ven limitados. Es el volumen total de agua requerida para la evapotranspiración y la formación de células desde la siembra hasta su cosecha de un cultivo dado en un régimen climático determinado (Peralta & Castillo, 2016).

### **2.3.8. Invernadero**

Un invernadero es una estructura cubierta de vidrio, plástico u otro material transparente que permite controlar el clima interno para el cultivo de plantas; estas estructuras son diseñadas para mantener temperaturas más altas que el ambiente exterior, lo cual es beneficioso para el crecimiento de plantas, especialmente en climas fríos o durante estaciones desfavorables (Barzola, 2019).

### **2.3.9. Hortalizas**

Son plantas comestibles cultivadas en huertos o jardines para su consumo humano. Estas plantas incluyen una amplia variedad de verduras y legumbres que se consumen crudas, cocidas o procesadas de diversas formas. Algunas de las



hortalizas más comunes incluyen: Lechuga, espinaca, acelga, col rizada, rúcula, zanahorias, rábanos, remolachas, nabos, entre otras (Barzola, 2019).

## CAPÍTULO III

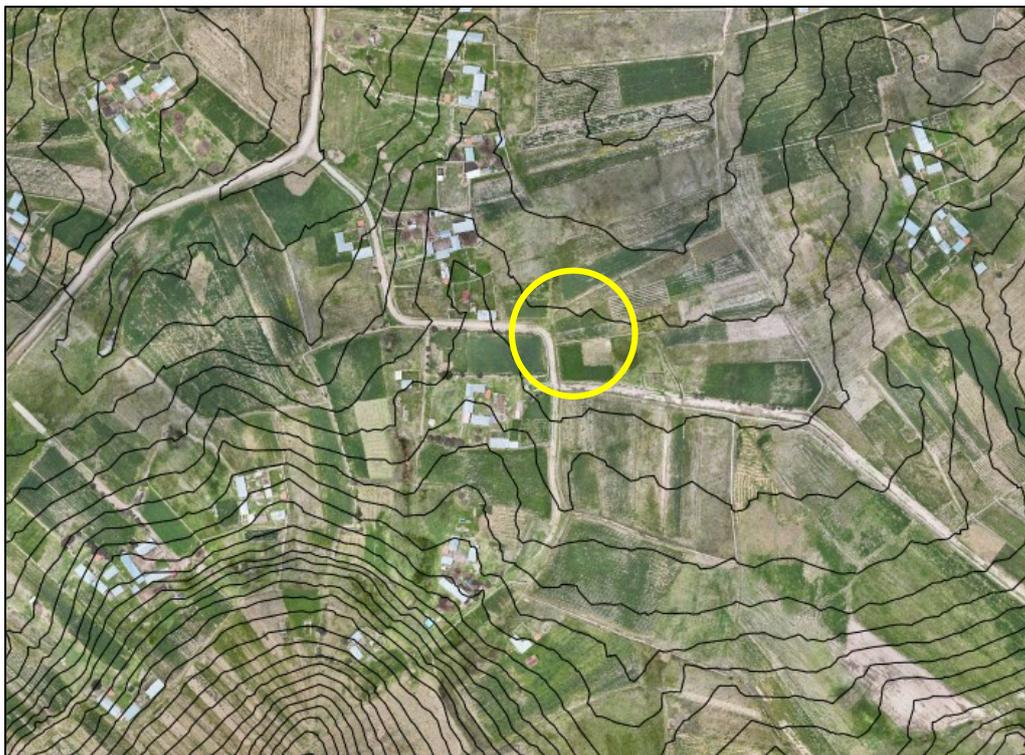
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona en estudio está localizada en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, de la provincia y departamento de Puno, ubicado en las Coordenadas UTM, 426827.16 m E y 8222563.58 m S, a una altitud de 3866 m.s.n.m.

#### Figura 16

*Ubicación de la zona en estudio*



*Nota.* Ortofoto de la zona en estudio

##### 3.1.1. Límites.

La comunidad campesina Challacollo, perteneciente a la jurisdicción del distrito de Acora, viene limitando con el norte con el distrito de Platería y

Pichacani; por el sur con el distrito de Ilave, por el este con el Lago Titicaca; y por el oeste con el distrito de Pichacani.

### 3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de acceso y comunicación desde la ciudad de Puno, hacia el área en estudio es la terrestre, tal cual se exhibe en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio*

<b>Partida</b>	<b>Fin</b>	<b>Distancia</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Medio de transporte</b>
Puno	Chucuito	19.70 km	0:28 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Chucuito	Platería	9.0 km	0:09 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Platería	Acora	4.5 km	0:06 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Acora	Comunidad Campesina de Challacollo	2.5 km	0:15 h	Carretera Trocha	Automóvil

### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es **APLICATIVO** porque hace hincapié en la utilización práctica de los conocimientos para abordar problemas concretos o satisfacer necesidades concretas de la vida cotidiana (Baena, 2017).

El diseño empleado es **NO EXPERIMENTAL** porque las variables no se modificarán a propósito en la investigación para determinar cómo afectan a otras variables (Hernández & Mendoza, 2018).



### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **a) Técnicas**

Las principales técnicas de recogida de datos para este estudio son la observación y la revisión bibliográfica de libros, tesis, sitios web, publicaciones académicas, y otras fuentes.

#### **b) Instrumentos**

- Ficha de observación
- Programa Microsoft Excel
- Programa Microsoft Office
- Reglamento nacional de edificaciones
- Manual de diseño de sistemas de riego
- Revisión de sistemas fotovoltaicos; Photovoltaic Science and Engineering (ingeniería y ciencia fotovoltaica)

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. Población**

La población en estudio está representada por toda la extensión del centro poblado del distrito de Acora perteneciente a la provincia y departamento de Puno.

### 3.3.2. Muestra

Se ha considerado un muestreo no probabilístico a juicio del investigador; ante ello la muestra está representado por una extensión de 50.00m<sup>2</sup>, para el riego de hortalizas en invernadero.

## 3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### 3.4.1. Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024

Se determino la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora durante un periodo de un año, mediante las ecuaciones tomadas por Arizaca (2022), del libro denominada Photovoltaic Science and Engineering “ingeniería y ciencia fotovoltaica”; el cual indica el cálculo de los siguientes parámetros para determinar la radiación solar:

- **Declinación solar (°)**

$$\delta = 23.45^\circ * \text{sen} \left( \frac{360(d_n + 284)}{365} \right)$$

**Donde:**

$d_n$ : Días del año

- **Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal (°)**

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi))$$

**Donde:**

$\delta$ : Angulo de declinación solar

$\phi$ : Latitud de la zona en estudio



- **Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado ( $^{\circ}$ )**

$$\omega_{ss} = \max(\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi - \beta)))$$

**Donde:**

$\delta$ : Angulo de declinación solar

$\phi$ : Latitud de la zona en estudio

- **Factor de excentricidad**

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * d_n}{365}\right)$$

- **Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)**

$$H_0 = \left(\frac{T}{\pi}\right) * I_0 * \varepsilon_0 \left(-\left(\frac{\pi}{180}\right) * (\omega_s * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\delta)) - (\cos(\phi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega_s))\right)$$

**Donde:**

$T$ : Tiempo del día (horas)

$I_0$ : Factor de incidencia (1367)

- **Índice de claridad**

$$K_{Tm} = \frac{G_0}{H_0}$$

**Donde:**

$G_0$ : Irradiación global horizontal

- **Fracción difusa**

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 K_{Tm}$$



- **Radiación difusa sobre un plano horizontal**

$$D_0 = F_{Dm} * G_0$$

- **Radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal**

$$H_{dm} = G_0 - D_0$$

- **Radiación solar directa**

$$H_{(\beta,\alpha)} = H_{dm(0)} * K$$

**Donde:**

**K:** Factor de corrección (2.74)

- **Radiación solar difusa**

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_0 * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right)$$

- **Radiación solar Albedo**

$$AL_{(\beta,\alpha)} = \rho * G_0 * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

- **Radiación solar global**

$$R_G = H_{(\beta,\alpha)} + D_{(\beta,\alpha)} + AL_{(\beta,\alpha)}$$



### **3.4.2. Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en condiciones de invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024**

Para el cumplimiento del presente objetivo, se estableció el tipo de cultivos principalmente hortalizas (**Lechuga, Alcachofa, Acelga, Brocoli y Repollo**), para un invernadero, y realizar la determinación del requerimiento hídrico o diseño agronómico tal como lo recomienda la R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI; mediante los siguientes procedimientos:

#### a) Diseño del invernadero

Para elaborar el diseño del invernadero; primeramente, se considerará los materiales de construcción, dimensiones de la infraestructura, distribución de ambientes; orientación; entre otros.

Tomando en consideración las siguientes especificaciones:

- **Techo-**. Según la RNE-E 080, indica que los techos tendrán que ser livianos, tomando en cuenta las pendientes, impermeabilidad, aislamiento térmico y longitud de cada alero; y se realizara en invernadero; es por ello que se planteara el uso de calamina de policarbonato color amarillo (transparente), la cual consentirá alcanzar hasta el 80% de la luz natural, siendo idóneo para almacenar calor y poder garantizar el desarrollo de los cultivos en todo el año.
- **Cimiento-**. El muro será de bloqueta con las dimensiones de 0,40 mts. de largo, 0,15 mts. de ancho y 0,20 mts. de altura; así mismo se empleó la siguiente ecuación para establecer las dimensiones del cimiento.

$$C = 1.5 * \text{espesor}$$

- **Ventilación-**. El principal propósito de la ventilación tanto en invierno como en verano es reducir o eliminar el excedente de humedad y temperatura del invernadero (Huaquisto, 2021); siendo el flujo de aire que hay que sustituir de:
- **Iluminación-**. Para un trabajo seguro y eficaz, se recomienda una iluminación adecuada que pueda gestionarse y se distribuya uniformemente por toda la infraestructura (Huaquisto, 2021).
- **Tarrajeo de muro-**. Para salvaguardar el almacenamiento de calor en el invernadero se deberá de garantizar el tarrajeo de muro empleando tierra con mezcla de estiércol de ganado; Este tipo de tarrajeo es capaz de almacenar más calor que los tarrajes totalmente de tierra, afirma Nina (2022).

b) Determinación del requerimiento hídrico del cultivo en invernadero

- **Evapotranspiración real**

La evapotranspiración real en este caso de hortalizas (**Lechuga, Alcachofa, Acelga, Brocoli**), para un invernadero; es el requerimiento hídrico por los cultivos, calculada por medio de la siguiente expresión.

$$Etc = ETo * Kc$$

**Donde:**

**Etc:** Evapotranspiración real (mm/día)

**ETo:** Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)



**Kc:** Coeficiente único de cultivo

Para calcular la evapotranspiración de referencia se empleó la técnica de Penman-Monteith, ya que es recomendable como la uncia técnica para el calculo de la evapotranspiración de referencia de los cultivos **ET<sub>o</sub>**; mediante la siguiente expresión:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

**Donde:**

**ET<sub>o</sub>:** Evapotranspiración de referencia (mm/día)

**T:** Temperatura media del aire a dos metros de altura (°C)

**Rn:** Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

**μ<sub>2</sub>:** Velocidad del viento a dos metros de altura (m/s)

**ea:** Presión real de vapor (kPa)

**es:** Presión de vapor de saturación (kPa).

**Δ:** Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C) y

**γ:** Constante psicrométrica (kPa/°C).

- **Lamina neta de riego (Ln)**

Jara y Ramos (2018), se efectúa por medio de la siguiente expresión:

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da$$

**Donde:**

**CC:** Capacidad de campo (%)

***h***: Altura de la raíz (m)

***PMP***: Punto de marchitez permanente (%)

***da***: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

***c***: Coeficiente de agotamiento (%)

**Tabla 7**

*Datos para la determinación de la lámina neta de riego*

Textura	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Arenoso	12	5	1.13
Franco	41	17	1.58
arcilloso			
Franco	31	13	1.58
Arcillos	48	19	2.23
o			
Franco	16	7	1.42
arenoso			

*Nota. Obtenido de (Arizaca, 2022)*

- **Lamina bruta de riego (Lb)**

Con dicho dato se ajusta la lámina de riego (Lb), que establece las pérdidas del sistema por medio de la siguiente expresión:

$$Lb = Ln/Ef$$

**Donde:**

***ln***: Lamina neta de riego (mm)

***Ef*** : Eficiencia de riego



- **Intervalo o frecuencia de riego**

La fórmula determina la frecuencia de riego, que es el intervalo de tiempo más largo entre dos riegos secuenciales:

$$I = Ln/ETc$$

**Donde:**

***Ln*** : Lamina neta de riego (mm)

***ETc*** : Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

- **Demanda de agua requerida para riego**

$$Da = A * Lb$$

**Donde:**

***A***: Área de riego (m<sup>2</sup>)

***lb*** : Lamina bruta de riego (m)

- **Caudal de agua requerido para riego**

$$Q = \frac{Da}{Tr*3600}$$

**Donde:**

***Q***: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

***Da*** : Demanda de agua (m<sup>3</sup>)

***Tr*** : Tiempo de riego (s)

**3.4.3. Realizar el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024.**

Se realizó un sistema de riego por goteo; tomando en consideración el diseño de la red hidráulica, tal como lo recomienda la R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI así mismo también el RNE EM.080 instalaciones con energía solar; siguiendo los siguientes cálculos.

**a) Determinación del caudal**

Se determinó el caudal de un pozo, por la técnica de prueba de bombeo, que mide el área del pozo y la velocidad de desplazamiento desde la altura dinámica hasta la altura estática del pozo de agua mediante la siguiente expresión:

$$Q = A_p * V_d$$

**Donde:**

$Q$  : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$V_d$  : Velocidad de desplazamiento del agua (m/s)

$A_p$  : Área del pozo (m<sup>2</sup>)

$$V_d = \frac{D}{T}$$

**Donde:**

$V_d$ : Velocidad de desplazamiento del agua (m/s)

$T$  : Tiempo de desplazamiento (s)

$D$  : Distancia de desplazamiento (m)



Este método se repitió cinco veces para obtener datos más precisos sobre el caudal.

## b) Cálculo hidráulico

- **Diámetro de tubería de impulsión**

El dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión se efectuó por medio de la siguiente fórmula:

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb}$$

**Donde:**

**D:** Diámetro de tubería (pulg.)

**X:** Horas de bombeo

**Qb:** Caudal de bombeo

- **Caudal de bombeo**

$$Qb = \frac{vta}{T}$$

**Donde:**

**Vta:** Volumen del tanque (según diseño agronómico)

**T:** Tiempo (horas)

- **Potencia de bombeo**

La ecuación para el cálculo de la potencia se realizó de la siguiente manera:



$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta}$$

**Donde:**

***Pb***: Potencia de la bomba (HP)

***HDT***: Altura hidrodinámica total

***Qb***: Caudal de bombeo

$\eta$ : Eficiencia de la bomba (%)

Para el presente estudio se empleó una bomba centrífuga; en acuerdo a la potencia requerida, se efectuó el cálculo de los módulos solares fotovoltaicos, tomando en consideración lo que indica Arizaca (2022), para el funcionamiento de una bomba de 1HP es equivalente al requerimiento energético de 768Wp de energía eléctrica.

### c) Cálculo de los módulos solares fotovoltaicos

- **Angulo de inclinación del panel**

Según Aquino (2017); afirma que se empleó la siguiente expresión para calcular el ángulo de inclinación del módulo solar fotovoltaico:

$$A = L - 23.5^\circ \text{sen} \left( \frac{T}{365.25} * 360^\circ \right)$$

**Donde:**

***L***: Latitud de la zona en estudio

***T***: Número de días pasados a partir del equinoccio de la primavera

- **Orientación**

Según Aquino (2017), define la orientación como el ángulo formado entre la perpendicular de la superficie del módulo y la dirección del meridiano; si estamos en el hemisferio sur, esta orientación es hacia el norte magnético.

- **Altura del panel**

$$h = \text{sen}(A) * 1570 + 200$$

**Donde:**

*h*: Altura del panel solar fotovoltaico

*A*: Angulo de inclinación del panel solar fotovoltaico

- **Distancia entre paneles solares**

$$d = \frac{h}{\text{Tan}(61^\circ - A)}$$

**Donde:**

*d*: Distancia entre paneles solares

*A*: Angulo de inclinación del panel solar fotovoltaico

*h*: Altura del panel solar fotovoltaico

- **Potencia del generador de energía eléctrica (batería)**

Inicialmente, había que determinar la potencia total del generador solar. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$P_g = f \cdot S \cdot \frac{E_{POT.MAX.DIARIA}}{0.9 * HPT * KT}$$

**Donde:**

*P<sub>g</sub>*: Potencia del generador (W)



$E_{POT.MAX.DIARIA}$ : Potencia máxima diaria (según la radiación solar).

$HPT$ : Hora sol pico (3.71 h/día para puno)

$KT$ : Factor del inversor = 1

$f.s.$ : factor de seguridad = 1.2

- **Inversor**

La energía debe convertirse de corriente continua a alterna mediante un inversor.

- **Potencia fotovoltaica**

$$Pot. total = Pb_{wp} * 1.6$$

**Donde:**

$Pb_{wp}$  : Potencia de la bomba en Watio pico (según el diseño hidráulico)

- **Cantidad de paneles solares**

Se empleo la siguiente formula para determinar el número de paneles en función de los vatios pico ( $Wp$ ) que posee cada panel y la cantidad de  $Wp$  que necesita la bomba para su funcionamiento:

$$Cantidad\ de\ paneles = \frac{Wp\ bomba}{Wp\ Panel\ Solar}$$

**Donde:**

$Wp\ bomba$ : Cantidad de watio pico necesitado por la bomba



***Wp Panel Solar:*** Cantidad de watio pico exigido

por el panel

- **Numero de paneles en serie y en paralelo**

Para calcular la cantidad de paneles en serie se utilizó la siguiente expresión:

$$N_{p.serie} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}}$$

$$N_{p.paralelo} = \frac{NP}{N_{p.serie}}$$

**Donde:**

***N<sub>p.serie</sub>***: Número de paneles en serie

***V<sub>n.p</sub>***: Voltaje nominal del panel (Wp)

***V<sub>n.sgen</sub>***: Voltaje nominal del sistema de generación (Wp)

***NP***: Número de paneles

***N<sub>p.paralelo</sub>***: Número de paneles en paralelo

- **Batería para el almacenamiento de energía**

Para el presente proyecto se realizó el almacenamiento de energía, mediante baterías y que puede almacenar casi toda la energía para utilizarla más tarde. Este ciclo puede repetirse siempre que la batería esté en buen estado de funcionamiento.

Finalmente se realizó el modelamiento hidráulico con el programa WaterCAD; tomando los siguientes aspectos.

**Construcción del dibujo-**. El plano de construcción de las tuberías se creó previamente en AutoCAD en formato dxf y se abrió en el programa WaterCAD.



**Ingreso de información-** Además de establecer el sistema internacional y configurar el tipo de tubería, incluyendo caudal, velocidad, elevación de cada nudo y diámetro, se utilizó las herramientas => opciones => unidades para introducir las demandas, siendo en tal caso el caudal máximo horario, en la tubería de salida del reservorio. Para ello se utilizó la herramienta control de demandas.

**Ejecución de la simulación-** Tras introducir los datos, la simulación se ejecutó con la herramienta de cálculo del programa WaterCAD para obtener los resultados.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DETERMINAR LA RADIACIÓN SOLAR EXISTENTE EN LA COMUNIDAD CAMPESINA CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024

Para cumplir el objetivo específico 1; determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024, se realizó tomando en consideración las ecuaciones descritas por Arizaca (2022), del libro denominada Photovoltaic Science and Engineering “ingeniería y ciencia fotovoltaica”; el cual indica el cálculo de los siguientes parámetros para determinar la radiación solar:

##### 4.1.1. Cálculo de la declinación solar

$$\delta = 23.45^\circ * \text{sen}\left(\frac{360(135 + 284)}{365}\right)$$

$$\delta = -18.79^\circ$$

La declinación solar para el día 135 del área en estudio perteneciente al mes de mayo es de  $-18.79^\circ$ , respectivamente.

##### 4.1.2. Cálculo del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\emptyset))$$

Donde:

$\emptyset$ : Latitud del área en estudio ( $16.073^\circ$ )



**Reemplazando:**

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(-18.79^\circ) * \tan(16.073^\circ))$$

$$\omega_s = -95.62^\circ$$

El ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal para el día 135 del área en estudio es de  $-95.62^\circ$  respectivamente.

#### 4.1.3. Cálculo del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado

$$\omega_{ss} = \max(\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi - \beta)))$$

**Donde:**

$\beta$ : Angulo de inclinación (según el ángulo promedio de la superficie del área en estudio)

**Reemplazando:**

$$\omega_{ss} = \max(\omega_s; -\arccos(-\tan(-18.79^\circ) * \tan(16.073^\circ - 3.32)))$$

$$\omega_{ss} = -95.62^\circ$$

El ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado para el día 135 del área en estudio es de  $-95.62^\circ$  respectivamente.

#### 4.1.4. Cálculo del Factor de Excentricidad

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * 135}{365}\right)$$

$$\varepsilon_0 = 0.977$$

El factor de excentricidad para el día 135 del área en estudio es de 0.977 respectivamente.

#### 4.1.5. Cálculo de la irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal

$$H_0 = \left(\frac{T}{\pi}\right) * I_0 * \varepsilon_0 \left( - \left(\frac{\pi}{180}\right) * (\omega_s * \text{sen}(\varnothing) * \text{sen}(\delta)) - (\text{cos}(\varnothing) * \text{cos}(\delta) * \text{sen}(\omega_s)) \right)$$

$$H_0 = 10895.3495 \text{ Wh/m}^2$$

La irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal para el día 135 es de 10895.3495 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.6. Cálculo del índice de claridad

$$K_{Tm} = \frac{G_0}{H_0}$$

Donde:

$G_0$ : Irradiación global horizontal (1861 Wh/m<sup>2</sup>)

$$K_{Tm} = \frac{1861}{10895.34}$$

$$K_{Tm} = 0.171 \text{ Wh/m}^2$$

El índice de claridad para el día 135 es de 0.171 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.7. Cálculo de la fracción difusa

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 K_{Tm}$$

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 (0.171)$$

$$F_{Dm} = 0.807 \text{ Wh/m}^2$$

La fracción difusa para el día 135 es de 0.807 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.



#### 4.1.8. Cálculo de la radiación difusa sobre un plano horizontal

$$D_0 = F_{Dm} * G_0$$

$$D_0 = 0.807 * 1861$$

$$D_0 = 1501.81 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación difusa sobre un plano horizontal para el día 135 es de 1501.81 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.9. Cálculo de la radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal

$$H_{dm} = G_0 - D_0$$

$$H_{dm} = 1861 - 1501.81$$

$$H_{dm} = 359.19 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal para el día 135 es de 359.19 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.10. Cálculo de la radiación solar directa sobre un panel solar inclinado

$$H_{(\beta,\alpha)} = H_{dm(0)} * K$$

**Donde:**

**K:** Factor de corrección (2.74)

**Reemplazando:**

$$H_{(\beta,\alpha)} = 359.19 * 2.74$$

$$H_{(\beta,\alpha)} = 984.19 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar directa sobre un panel solar inclinado para el día 135 es de 984.19 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.11. Cálculo de la radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_0 * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right)$$

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_0 * \left( \frac{1 + \cos(3.32)}{2} \right)$$

$$D_{(\beta,\alpha)} = 1501.81 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado para el día 135 es de 1501.81 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.12. Cálculo de la radiación solar Albela sobre un panel solar inclinado

$$AL_{(\beta,\alpha)} = \rho * G_0 * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

Donde:

$\rho$ : Reflectancia del suelo (0.20)

Reemplazando:

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 0.20 * 1861 * \left( \frac{1 - \cos(3.32)}{2} \right)$$

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 0.32 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar Albela sobre un panel solar inclinado para el día 135 es de 0.32 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 4.1.13. Cálculo de la radiación solar global

$$R_G = H_{(\beta,\alpha)} + D_{(\beta,\alpha)} + AL_{(\beta,\alpha)}$$

$$R_G = 984.19 + 1501.81 + 0.32$$

$$R_G = 2486.32 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar global para el día 135 es de 2486.32 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

En la tabla 8, se exhibe la comparación de datos de la radiación solar para la zona en estudio, indicando que según las ecuaciones de del libro “Photovoltaic Science and Engineering” da una radiación solar de 2486.32 Wh/m<sup>2</sup>; mientras que según la plataforma web Global Solar Atlas da una radiación solar de 2476.30 Wh/m<sup>2</sup>; además la Plataforma web de la NASA’ da una radiación solar de 2361.41; Wh/m<sup>2</sup>; presentando datos con cierta similitud conllevando a decir que los cálculos se efectuaron con exactitud y veracidad.

**Tabla 8**

*Comparativa de la radiación solar para la zona en estudio*

<b>Comparativa de la radiación solar</b>		
<b>Ecuaciones del libro “Photovoltaic Science and Engineering”</b>	<b>Plataforma web Global Solar Atlas</b>	<b>Plataforma web de la NASA</b>
2486.32 Wh/m <sup>2</sup>	2476.30 Wh/m <sup>2</sup>	2361.41 Wh/m <sup>2</sup>

En la tabla 9, se exhibe el cálculo de la radiación solar por cada mes para el área en estudio, indicando que la radiación solar por cada mes es



variada; presentando la menor radiación para el mes de mayo y el mes con  
mayor radiación solar para el mes de diciembre, respectivamente

**Tabla 9**

*Diseño de la radiación solar en base a las ecuaciones del libro de Photovoltaic Science and Engineering*

Determinación la radiación solar: Libro de Luque (2002) "Photovoltaic Science and Engineering"													
Símbolo	Parámetros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
$dn$	Días del año	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345
$\delta$	Angulo de declinación solar ( $^{\circ}$ )	-21.27	-13.61	-2.42	9.41	18.79	-23.27	-21.26	14.42	3.42	-8.48	-18.17	-23.12
$\phi$	Latitud de la zona en estudio ( $^{\circ}$ )	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07
$\omega_s$	Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal ( $^{\circ}$ )	-83.56	-86.00	-89.30	-92.74	-95.62	-82.88	-83.56	-85.75	-90.98	-87.54	-84.57	-82.94
$\beta$	Angulo de inclinación de la superficie del area en estudio ( $^{\circ}$ )	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32
$\omega_{iss}$	Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado ( $^{\circ}$ )	-83.56	-86.00	-89.30	-92.74	-95.62	-82.88	-83.56	-85.75	-90.98	-87.54	-84.57	-82.94
$\epsilon_0$	Factor de excentricidad	1.03	1.02	1.03	1.00	0.98	1.03	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03
$I_0$	Factor de incidencia	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367
$H_0$	Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	8287.91	9192.65	9970.34	10777.80	10895.35	8023.52	8289.16	10879.96	10538.75	9698.11	8567.30	8043.98

$G_0$	Irradiación global horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861
$K_{tm}$	Índice de Claridad (Wh/m <sup>2</sup> )	0.225	0.202	0.187	0.173	0.171	0.232	0.225	0.171	0.177	0.192	0.217	0.231	0.231
$FDm$	Fración difusa (Wh/m <sup>2</sup> )	0.746	0.771	0.789	0.805	0.807	0.738	0.746	0.807	0.800	0.783	0.755	0.739	0.739
$D_0$	Radiación difusa sobre un plano horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	1388.80	1435.27	1468.48	1497.89	1501.81	1373.24	1388.87	1501.30	1489.65	1457.46	1404.20	1374.48	1374.48
$H_{dm}$	Radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	472.20	425.73	392.52	363.11	359.19	487.76	472.13	359.70	371.35	403.54	456.80	486.52	486.52
$F$	Factor de corrección	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
$H(\beta, \alpha)$	Radiación solar directa (Wh/m <sup>2</sup> )	1293.83	1166.49	1075.50	994.93	984.19	1336.46	1293.63	985.59	1017.50	1105.69	1251.64	1333.06	1333.06
$D(\beta, \alpha)$	Radiación solar difusa o (Wh/m <sup>2</sup> )	1388.80	1435.27	1468.48	1497.89	1501.81	1373.24	1388.87	1501.30	1489.65	1457.46	1404.20	1374.48	1374.48
$\rho$	Reflectancia del suelo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
$AL(\beta, \alpha)$	Radiación solar Albedo (Wh/m <sup>2</sup> )	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
<b><math>RG</math></b>	<b>Cálculo de la radiación solar global (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2682.95</b>	<b>2602.08</b>	<b>2544.30</b>	<b>2493.14</b>	<b>2486.32</b>	<b>2710.02</b>	<b>2682.82</b>	<b>2487.20</b>	<b>2507.47</b>	<b>2563.48</b>	<b>2656.15</b>	<b>2707.86</b>	<b>2707.86</b>

Para cuestiones del diseño se toma en consideración el menor porcentaje de radiación solar suscitado en el año para el área en estudio; siendo en este caso en el mes de mayo; con 2486.32 Wh/m<sup>2</sup>, respectivamente.



Dichos resultados comparados con el estudio realizado por Munive & Pereira (2022), presentan cierta similitud, debido a que en la ciudad del Carmen de Bolívar presenta una variación interanual de radiación solar entre 5 a 6 kWh/m<sup>2</sup>; para efectos de su estudio en el cultivo de ñame, indica que, dado que el proceso de recolección dura entre diez y doce meses, debe plantarse entre abril y junio, cuando los valores de radiación empiezan a descender. El sistema de riego se utiliza para reducir los altos valores de radiación de enero a marzo. Esto se hace en parte para aprovechar las dos estaciones invernales que experimenta el país. Mientras que con respecto al estudio realizado por Sangucho & Villacis (2021), no son de características similares debido a que en su área en estudio particularmente en la provincia de Cotopaxi, durante un año, presentan radiaciones de cada mes en: enero 3089Wh/m<sup>2</sup>/día; febrero 3315Wh/m<sup>2</sup>/día; marzo 3572Wh/m<sup>2</sup>/día; abril 3188Wh/m<sup>2</sup>/día; mayo 3288Wh/m<sup>2</sup>/día; junio 3107Wh/m<sup>2</sup>/día; Julio 3216Wh/m<sup>2</sup>/día; agosto 3117Wh/m<sup>2</sup>/día; septiembre 3835Wh/m<sup>2</sup>/día; octubre 3748Wh/m<sup>2</sup>/día; noviembre 4059Wh/m<sup>2</sup>/día; diciembre 3537Wh/m<sup>2</sup>/día con una media Anual de 3422,58Wh/m<sup>2</sup>/día; y además a razones de realizar un proyecto fotovoltaico, la inclinación y orientación del módulo FV (ángulo) inciden de modo muy significativo la cantidad de radiación solar que obtiene la superficie, y por ende la cantidad de energía originada por los módulos fotovoltaicos; así mismo con respecto al estudio realizado por Redondo (2020), son similares, por que el autor indica que los valores inferiores de radiación solar percibida se suelen presentar en mayo, por lo tanto, se considerará el mes más desfavorable; manifestando además que se deberán tomar dichos datos para dimensionar la instalación fotovoltaica.

También, con respecto al estudio realizado por Davila (2022), también se asemejan, con respecto a tomar los datos del mes de menor radiación para el diseño de los módulos fotovoltaicos; siendo este el mes de febrero con 3.77 kWh/m<sup>2</sup>/día de



radiación solar, esto es adecuado para que el sistema fotovoltaico sea diseñado para encender el generador, maximizando el balance entre demanda y oferta de energía, con un ángulo de inclinación ideal de  $7,68^\circ$  y un requerimiento energético de  $10,12 \text{ kWh/día}$  para el riego de sembríos agrícolas en el caserío de San Lorenzo - Amazonas. De igual manera con respecto a Jara & Ramos (2018), los resultados no son similares con el presente estudio, encontrando que una superficie con una inclinación de  $15^\circ$ , los niveles de radiación solar varían de  $4,73 \text{ kWh/m}^2 \text{ /día}$  en junio a  $6,67 \text{ kWh/m}^2 \text{ /día}$  en marzo. Con una radiación de  $5,90 \text{ kWh/m}^2 \text{ /día}$ , febrero es el mes con mayor demanda de agua, y éste es el criterio que se utiliza. La demanda máxima de agua de  $1029 \text{ l/min}$  que se espera que proporcione esta irradiación durante el año equivale a una demanda diaria de energía de  $29,2 \text{ kWh}$  y una potencia de bombeo de  $7,6 \text{ kW}$ .

Mientras que con respecto al estudio realizado por Arizaca (2022), dichos resultados se asemejan en cierta manera debido a que calculo la radiación solar para el Centro Experimental Chuquibambilla de la región de Puno, presentando similitudes con respecto al entorno ambiental, en el cual encontró que la radiación solar en un panel solar en la estación de baja nubosidad ( $2122,86 \text{ Wh/m}^2$ ) era elevada a la radiación solar en la estación de alta nubosidad ( $1988,76 \text{ Wh/m}^2$ ), lo que sugiere que la radiación en un día sin nubes es superior a la de un día nublado.

Y finalmente con respecto Vilca (2021), indica que la radiación solar existente en Rosaspata situado en la cuenca Llallimayo; indica que la radiación solar global es mayor para el mes de octubre, cuyo valor es de  $5 \text{ kW.h/m}^2\text{-día}$ , tomando para efectos del diseño el menor valor que es de  $5 \text{ kW.h/m}^2$ , respectivamente, así mismo alude que la radiación solar nunca serán homogéneo en todas las localidades debido a los factores climáticos, medioambientales, y zonas geográficos, que influyen significativamente en este componente.

## 4.2. DETERMINAR EL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO PARA LA COMUNIDAD CAMPESINA DE CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024

Para cumplir el objetivo específico 2; determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en condiciones de invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024, se realizó tomando en consideración el diseño del invernadero, cultivos, presentando los siguientes resultados.

### 4.2.1. Diseño del invernadero para cultivo de hortalizas

En la tabla 10, se exhibe las dimensiones para el invernadero propuesto; indicando que las dimensiones serán de 10.00m de largo, 5.00m de ancho, 2.00m de altura lateral y la parte central de 2.30m de altura respectivamente.

**Tabla 10**

*Dimensiones para el invernadero propuesto.*

Largo	Ancho	Altura	
		Laterales	Central
10.00	5.00	2.00	2.30
metros	metros	metros	metros

*Nota.* Elaborado en base a los planos

- a) Orientación-. Se efectuó la correcta orientación del Sur hacia el Norte según lo sugiere la normativa.
- b) Topografía-. La infraestructura fue ubicada en zonas de terreno que no presenten una pendiente mayor a 2%.

- c) Cimentación-. La cimentación fue determinada en base a las medidas del muro, en este caso fue realizado por bloques de cemento (bloqueta), que son 0,40 mts. de largo, 0,15 mts. de ancho y 0,20 mts. de alto, con un espesor de 0,02 mts entre cada hilada.

$$C = 1.5 * 0.15$$

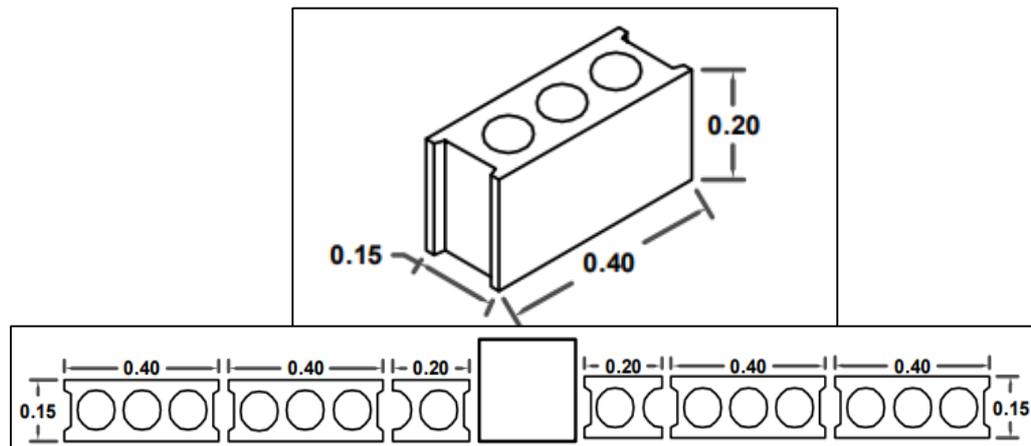
$$C = 0.23 \text{ m}$$

El ancho de cimiento es de 0.23m, pero se optó por 0.50m por consideraciones del diseño.

- d) Muro-. El muro será realizado mediante bloqueta con las dimensiones especificadas anteriormente de 0,40 mts. de largo, 0,15 mts. de ancho y 0,20 mts. de altura.

**Figura 17**

*Dimensiones de la bloqueta para muro del invernadero*



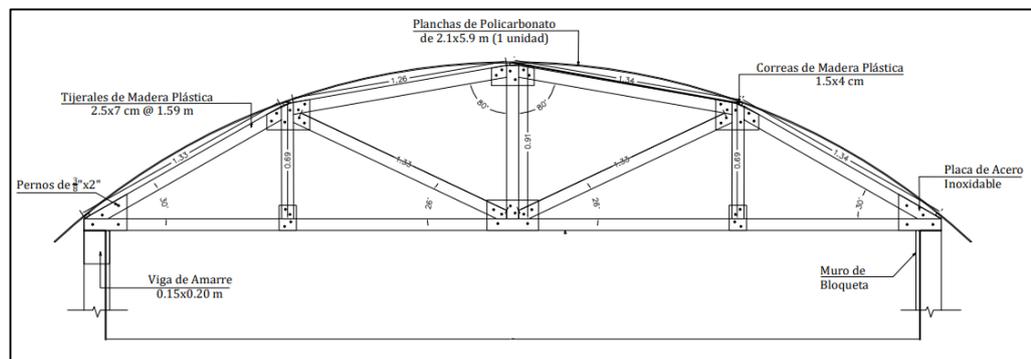
- e) Techo del invernadero-. el área techada de del invernadero propuesto estará comprendido para 50.00m<sup>2</sup> de área; así mismo el RNE-E 080 establece que los techos deberán ser livianos, tomando en cuenta las pendientes, el aislamiento térmico, la impermeabilidad, y la longitud de cada alero, se ha

recomendado el uso de planchas de policarbonato color amarillo alveolar de 5.90m\*2.10m con un espesor de 6mm; colocada en toda la estructura; este material permitirá el ingreso de hasta el 100% de luz natural, siendo optimo para el almacenaje calor y mejorar las condiciones ambientales en la infraestructura.

Asimismo, las calaminas se sujetaran con tijerales de madera plastica por ser 5 veces mas resistentes que la madera natural (**anexo 12 “especificaciones”**); presentando las siguientes dimensiones de 2.5\*7cm de de diferentes largos, aseguradas con placas de acero inoxidable, y con vigas de amarre de 0.15 \*0.20m todo ello para impedir filtraciones de lluvia, nieve y granizo, entre otros.

### Figura 18

#### *Detalles del techo del invernadero*



**Figura 19**

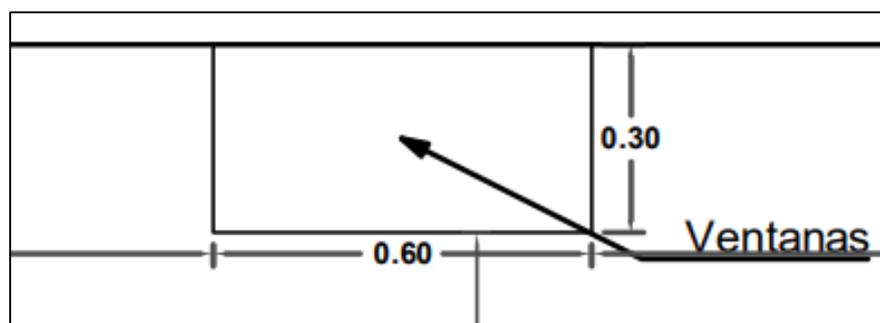
*Detalles de correa y tijerales de madera plastica*



- f) Ventana-. El invernadero estará conformado por 2 ventanas en cada lateral, siendo un total de 4 ventanas, cada una de ellas con dimensiones de (0.60m\*0.30m = 0.15m<sup>2</sup>); las cuales garantizarán la ventilación del invernadero.

**Figura 20**

*Detalles de la ventana del invernadero*

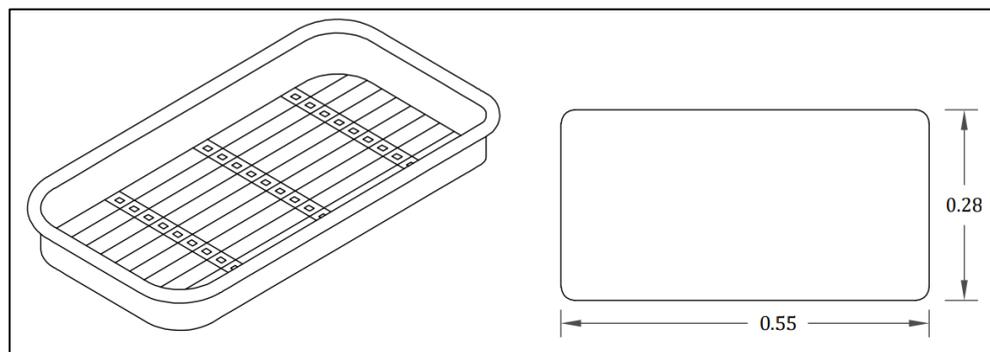


- g) Bandejas de soporte-. Se empleará bandejas de poliestireno de alto impacto para el crecimiento de cultivos, siendo en este caso hortalizas por presentar

raíces con pequeñas ramificaciones, dispuestas en un sustrato de material orgánico; cuyas dimensiones serán de 55cm de largo; 28cm de ancho y 6cm de alto; así mismo las bandejas estarán dispuestas a 5 niveles; puestas en soportes de madera de plástico 2.5cm a 7cm utilizada como columna; y de 1.5cm a 3.5cm, utilizadas como uniones de las maderas que servirán como columnas, también estas serán utilizadas para soportar directamente el peso de las bandejas.

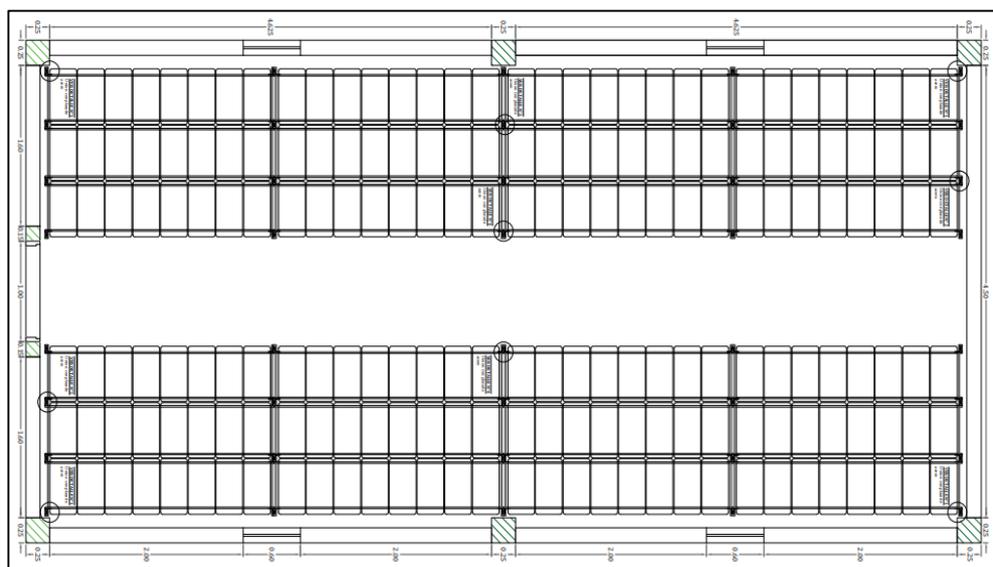
**Figura 21**

*Detalles de bandejas de poliestireno*



**Figura 22**

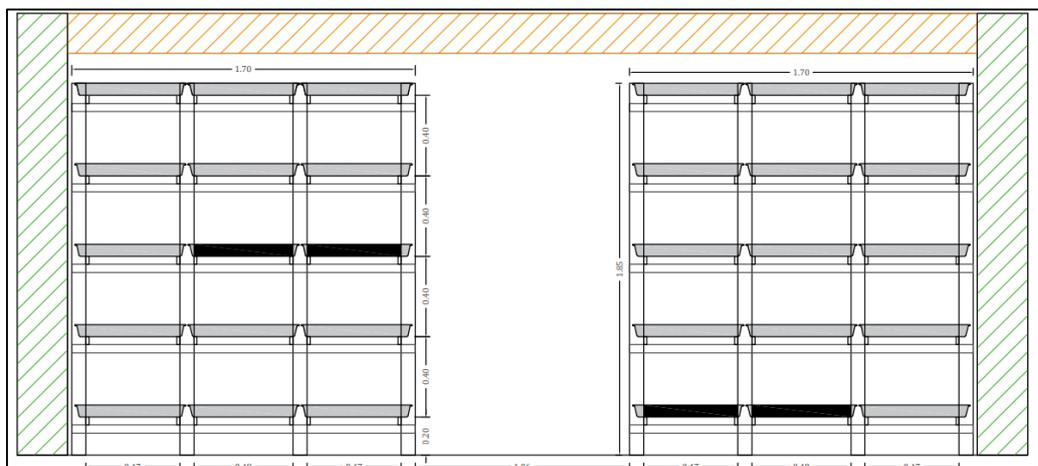
*Detalles de la estructura de soporte de bandejas*



- h) Distribución de niveles para cada cultivo de hortalizas en invernadero-.  
Recalcando que el invernadero estará compuesto de bandejas como soporte de los cultivos, cada una de ellas presentes en 5 niveles y en cada nivel estará compuesta por diferente tipo de cultivo de hortalizas: (1) Lechuga, (2) Alcachofa, (3) Acelga, (4) Brócoli, y (5) Repollo.

**Figura 23**

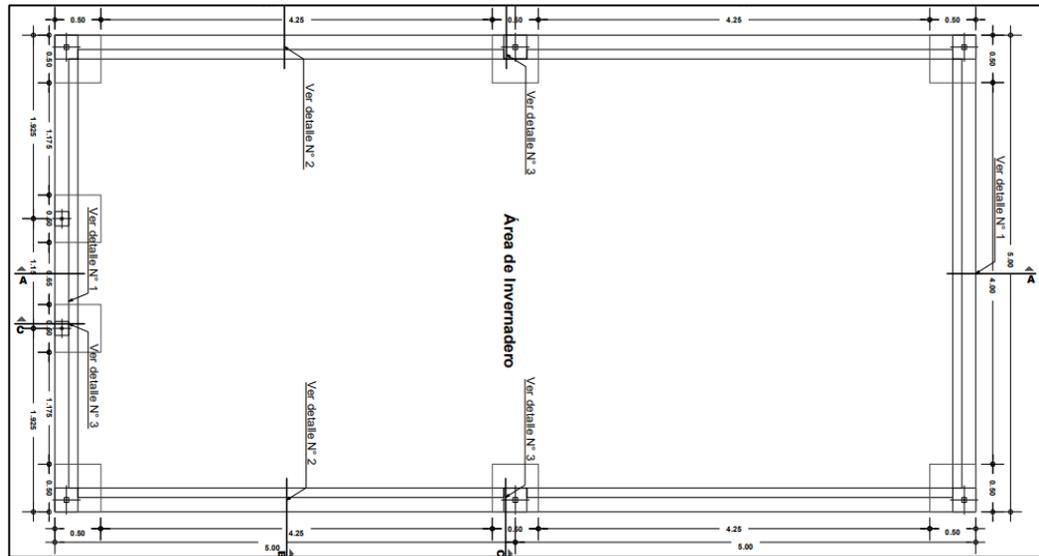
*Detalles de los niveles para diferente tipo de cultivo*



- i) Detalles del invernadero-. En la figura 24, 25, 26, y 27, se exhiben los detalles de la infraestructura del invernadero propuesto.

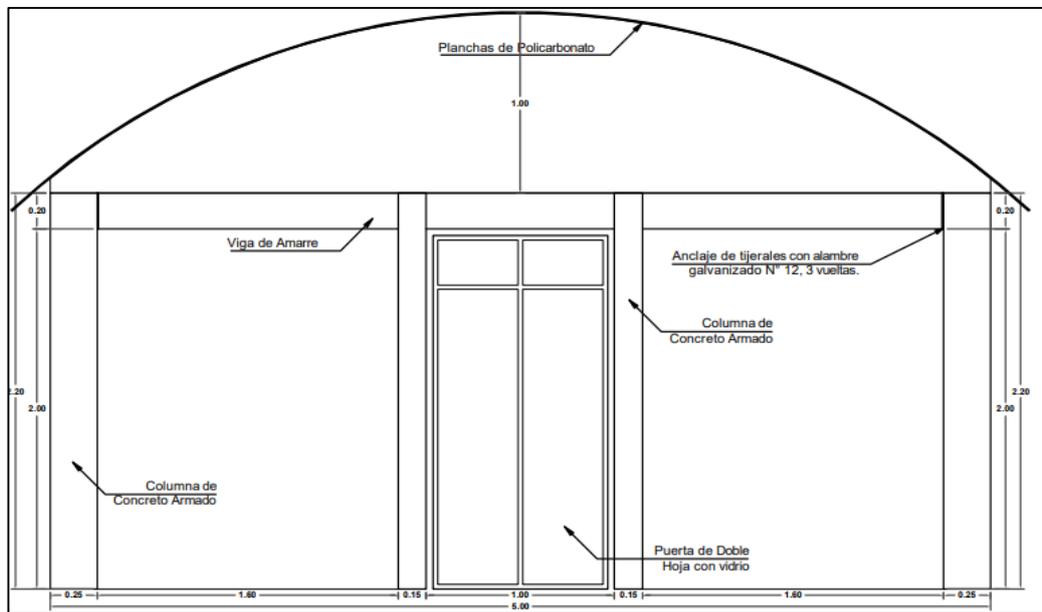
**Figura 24**

*Detalles del área del invernadero propuesto*



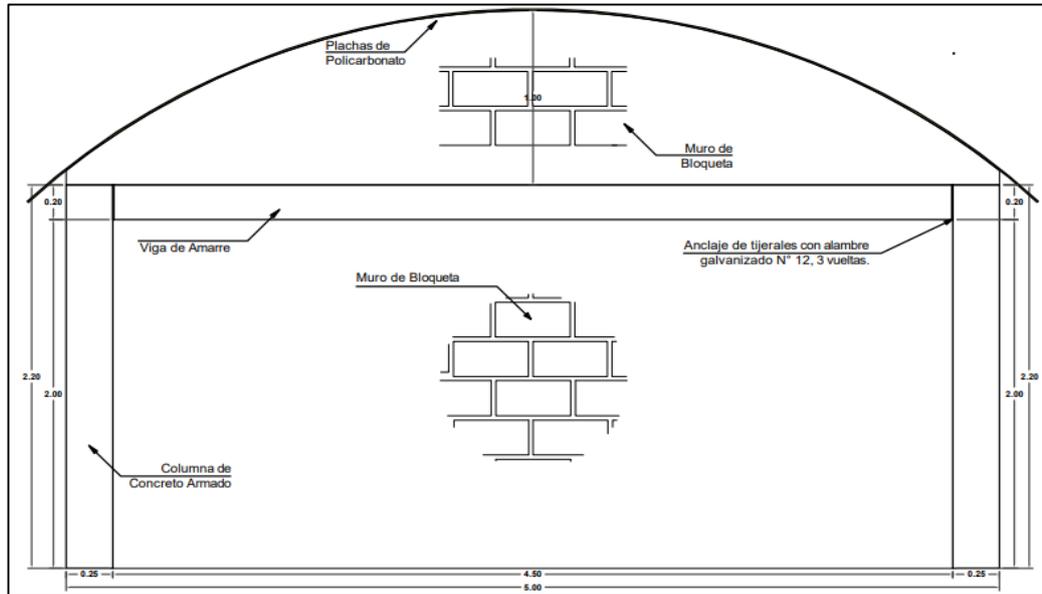
**Figura 25**

*Detalles de la vista frontal del invernadero propuesto*



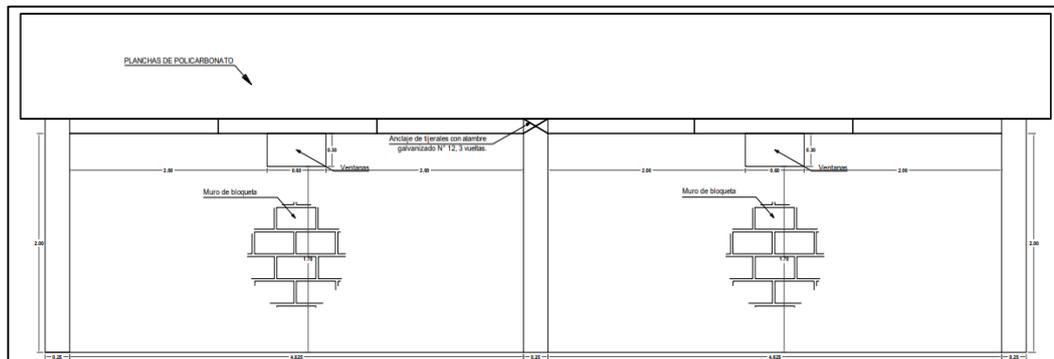
**Figura 26**

*Detalles de la vista trasera del invernadero propuesto*



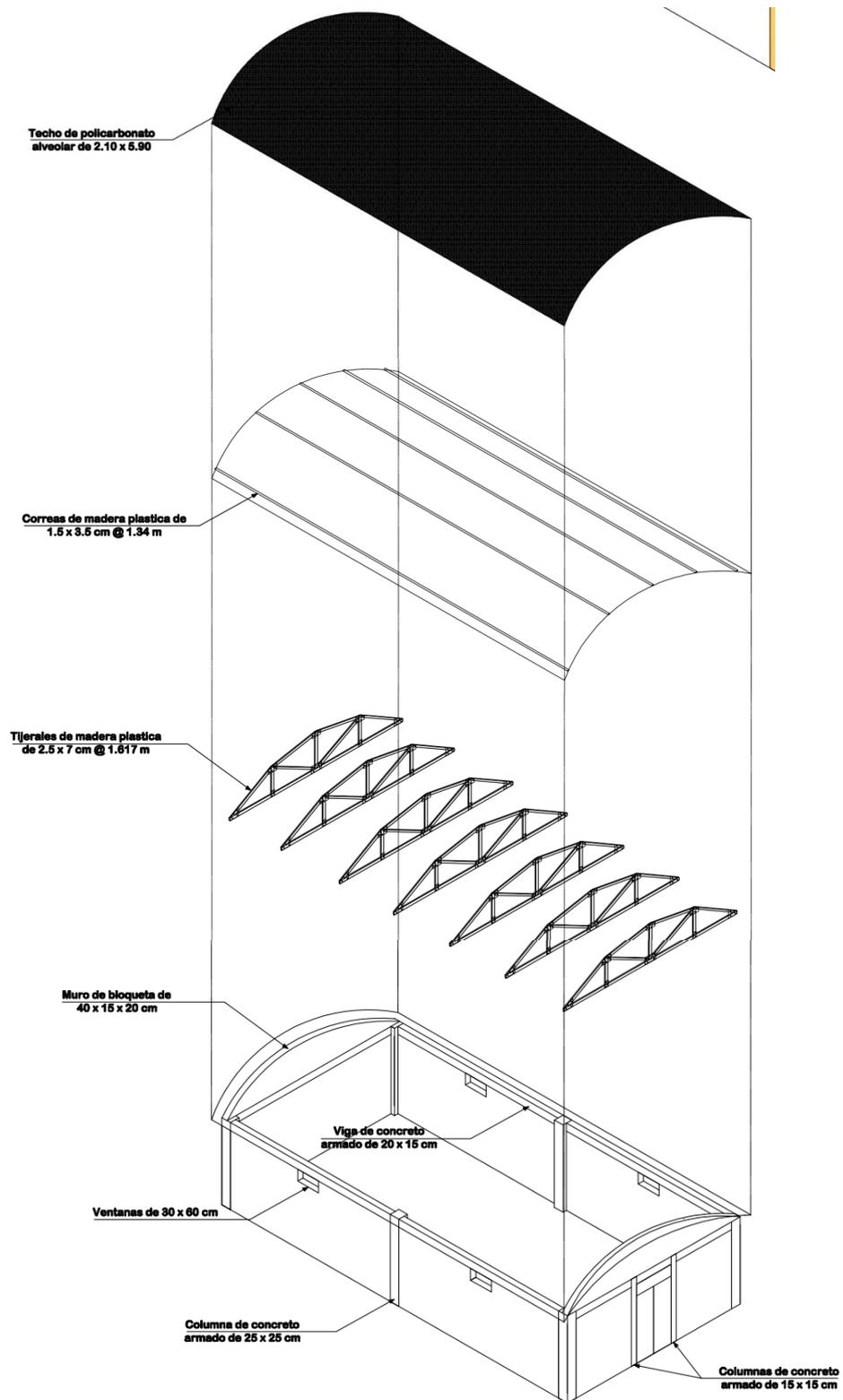
**Figura 27**

*Detalles de la vista lateral del invernadero propuesto*



**Figura 28**

*Isometría del invernadero propuesto*





## 4.2.2. Requerimiento hídrico de los cultivos en invernadero

### 4.2.2.1. Diseño agronómico

#### a) Evapotranspiración del cultivo de referencia

En la Tabla 8, se exhibe el cálculo de la evapotranspiración de referencia de cultivo de hortalizas (ET<sub>o</sub>) en invernadero por el método de Penman-Monteith, manifestando que el mes de enero presentó 3.07 mm/día de ET<sub>o</sub> (siendo este valor el más alto de todo los meses del año), febrero 2.87 mm/día, marzo 2.74 mm/día, abril 2.67 mm/día, mayo 2.78 mm/día, junio 2.58 mm/día (siendo este dato el de menor valor de todo el año), julio 2.70 mm/día, agosto 3.03 mm/día, septiembre 3.07 mm/día, octubre 3.11 mm/día, noviembre con 3.10 mm/día; y el mes de diciembre con 3.02 mm/día.

**Tabla 11**

*Cálculo de la evapotranspiración de referencia del cultivo de hortalizas en invernadero*

<b>Símbol</b>	<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Ma</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>No</b>	<b>Dic</b>
<b>o</b>		<b>y</b>											
$\mu_2$	Velocidad del viento a 2m. De altura (m/s)	1.46	1.22	1.32	1.22	1.21	1.45	1.53	1.9	1.9	1.94	1.8	1.43
$\gamma$	Constante psicrometrica (Kpa/°C)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.0	0.0	0.04	0.0	0.04
$\Delta$	Pendiente de la curva de Presión de vapor (Kpa/°C)	0.16	0.16	0.15	0.15	0.13	0.10	0.10	0.1	0.1	0.12	0.1	0.14
$e_s$	Presión de vapor de saturación (Kpa)	2.76	2.70	2.61	2.59	2.42	2.07	1.94	2.4	2.4	2.32	2.5	2.47
$e_a$	Presión real de vapor (Kpa)	2.13	2.17	2.11	2.15	1.98	1.65	1.50	1.9	1.9	1.82	1.9	1.87
$R_n$	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m <sup>2</sup> /día)	8.91	8.37	7.88	7.92	8.25	7.66	8.52	9.6	9.7	9.27	9.1	8.63
$G$	Flujo de calor del suelo (MJ/m <sup>2</sup> /día)	0.27	0.00	-	-	-	-	-	0.1	0.5	-	0.4	-
$T$	Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)	11.4	11.4	10.7	10.2	7.72	3.78	2.74	4.1	7.6	6.84	9.7	9.52
		7	8	7	0				2	7		8	
<b>EVAPOTRANSPIRACION PROMEDIO DIARIA</b>		<b>3.07</b>	<b>2.87</b>	<b>2.74</b>	<b>2.67</b>	<b>2.78</b>	<b>2.58</b>	<b>2.70</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.11</b>	<b>3.1</b>	<b>3.02</b>
									<b>3</b>	<b>7</b>		<b>0</b>	

*Nota.* Elaboración basada en el método de Penman-Monteith



Para efectuar el cálculo hidráulico se asumió el mes que presento una elevada evapotranspiración de referencia; por ello se toma en consideración el mes de enero con  $ET_o = 3.07$  mm/día.

Cabe mencionar que los datos hallados en la tabla 11, se calcularon utilizando la insolación máxima diaria ( $n$ ) y la radiación solar extraterrestre  $R_a$ . Estas mediciones se realizaron de acuerdo con el libro de la FAO (2022) sobre el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos; **Anexo 7 y Anexo 8.**

**b) Evapotranspiración real**

$$ET_c = ET_o * K_c$$

$$ET_c = 3.07 * 1.05$$

$$ET_c = 3.23 \text{ mm/día}$$

La evapotranspiración de cultivo de hortalizas es de **3.23 mm/día.**

**c) Lámina neta de riego ( $L_n$ )**

$$L_n = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da$$

$$L_n = \frac{41 - 17}{100} * 0.10 * 25 * 1.58$$

$$L_n = 0.95 \text{ mm/día}$$

La lamina neta de riego o la humedad apropiada para la subsistencia del cultivo de hortalizas es de **0.95 mm/día.**

**d) Eficiencia de aplicación**



Según el manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego de la FAO (2007), establece que la eficiencia de aplicación depende del tipo de riego a aplicar; por ende, para el presente estudio se empleara un sistema de riego por goteo, por ello la eficiencia de aplicación que le corresponde es de 90%.

e) Lámina bruta de riego ( $L_b$ )

$$L_b = \frac{Ln}{Ef}$$

$$L_b = \frac{0.95}{0.90}$$

$$L_b = 1.05 \text{ mm/día}$$

La lamina bruta de riego de cultivo de hortalizas es de **1.05 mm/día**; este será el valor de la lámina de agua que se empleará en la superficie por medio de riego por goteo con la finalidad de restablecer la capacidad de campo del mismo.

f) Intervalo o frecuencia de riego

$$I = \frac{Ln}{ETc}$$

$$I = \frac{0.95}{3.23}$$

$$I = 0.29 \text{ mm/día}$$

La frecuencia de riego se describe como el mayor intervalo de tiempo de dos riegos consecutivo, ante ello la frecuencia de riego es de **0.29 mm/día**.

g) Tiempo de riego



$$Tr = \frac{Lb}{I}$$

$$Tr = \frac{1.05}{0.29}$$

$$Tr = 0.15 \text{ horas}$$

Asumiéndose un tiempo estimado 0.15 horas semejante a 15 minutos de riego por goteo para riego de hortalizas en invernadero.

h) Demanda de agua requerida para el cultivo de hortalizas

$$Da = A * Lb$$

$$Da = 158.65 * 1.05$$

$$Da = 0.17 \text{ m}^3$$

Como resultado del trabajo la demanda de agua necesitada para el cultivo de hortalizas para un área aproximada de 158.65, es de **0.17 m<sup>3</sup>** de agua por día.

i) Caudal de agua necesario para el sistema

$$Q = \frac{Da}{Tr * 3600}$$

$$Q = \frac{0.17}{0.15 * 3600}$$

$$Da = 0.000311 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.311 \text{ lps}$$

El caudal necesario para abastecer al invernadero de cultivo de hortalizas es de 0.000311 m<sup>3</sup>/s equivalente a 0.311 lps y en base a ello se efectuará el cálculo hidráulico.



En la tabla 12, se exhibe del requerimiento hídrico de cultivo de hortalizas en invernadero, indicando que para el mes de enero se requiere un caudal de 0.311 l/s, febrero se requiere un caudal de 0.332 l/s, marzo se requiere un caudal de 0.349 l/s, abril se requiere un caudal de 0.358 l/s, mayo se requiere un caudal de 0.344 l/s, junio se requiere un caudal de 0.370 l/s, julio se requiere un caudal de 0.353 l/s, agosto se requiere un caudal de 0.315 l/s, septiembre se requiere un caudal de 0.311 l/s, octubre se requiere un caudal de 0.307 l/s, noviembre se requiere un caudal de 0.308 l/s; y el mes de diciembre con 0.316 l/s de caudal.

**Tabla 12**

*Requerimiento hídrico de cultivo de hortalizas en invernadero*

Símbolo	Parámetros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Eto	Evapotranspiración de Cultivo de referencia	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
Kc	Coefficiente de cultivo (hortalizas)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Etc	Evapotranspiración de Cultivo (mm/día)	3.23	3.02	2.88	2.80	2.92	2.71	2.84	3.18	3.22	3.26	3.26	3.17
Ln	Lamina neta de riego (mm/día)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
%	Eficiencia de aplicación (%)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Lb	Lamina bruta de riego (mm/día)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	Intervalo o Frecuencia de riego (mm/día)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Tr	Tiempo de riego (Horas)	0.29	0.31	0.33	0.34	0.32	0.35	0.33	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30
D	Demanda de agua requerida "158.65m <sup>2</sup> " (m <sup>3</sup> )	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Q	Caudal necesario para el sistema (m <sup>3</sup> /s)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
<b>Caudal necesario para el sistema (l/s)</b>		<b>0.311</b>	<b>0.33</b>	<b>0.34</b>	<b>0.35</b>	<b>0.34</b>	<b>0.37</b>	<b>0.35</b>	<b>0.31</b>	<b>0.31</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>0.316</b>
		<b>2</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>8</b>		

*Nota.* Elaboración basada en el Manual para el diseño de sistemas de riego



Dichos resultados comparados con el estudio efectuado por Munive & Pereira (2022), no se asemejan; encontrando que el requerimiento hídrico para el cultivo de ñame en 0.5ha, en el municipio del Carmen de Bolívar, presenta un valor de evapotranspiración de referencia (Eto) de 108mm/mes, lo que equivale a 3,62mm/día, con un coeficiente de cultivo (Kc) que fluctúa entre 0,46 y 0,76, requiriendo un cantidad de agua para los cultivos de 4m<sup>3</sup>/h; respectivamente; siendo superior al presente estudio; principalmente por la diferente tasa de evapotranspiración, diferente extensión del terreno, y diferentes condiciones climatológicas de la zona; Así mismo con respecto al estudio realizado por Vargas T (2021), también no se asemejan al presente estudio debido a que presento un requerimiento hídrico para riego agrícola en una extensión de 158ha de 0.202 l/s; sin embargo se exhibe que el caudal de la fuente es superior al caudal neseditado.

Mientras que con respecto a Jara (2021), no presentan las mismas características al presente estudio; manifestando que en su estudio realizo el cálculo del requerimiento hídrico para 7hectareas de cultivos de palto en el distrito de Guadalupito, fue en un rango de 146 a 1028 l/min con un promedio de 559 l/min; no obstante, el diseño se fetua para el mes con más elevado requerimiento de agua, esto es 1028 l/min.

Así mismo con respecto al estudio realizado por Arizaca (2022), presentan características con cierta similitud al presente estudio; por ser desarrollada en condiciones del altiplano puneño; en el cual presento una demanda de agua neseditada para el cultivo de alfalfa para la zona estudiada de 1.80ha de 25.70 m<sup>3</sup> de agua por día realizada; todo ello inferior al presente estudio; debido a que el diseño agronómico realizado; es meramente para un invernadero; donde existe otras condiciones climáticas.

Y finalmente con respecto al estudio realizado por Vilca (2021), dichos resultados son diferentes, con una evapotranspiración de referencia de 3,36 mm/día y una



precipitación efectiva de 8,84 mm/día, octubre es el mes más crítico, según el diseño agronómico. La demanda hídrica del proyecto es de 126,67 mm, la necesidad de agua de los cultivos es de 95 mm y las precipitaciones netas y brutas son de 66,6 mm y 88,7 mm, respectivamente, requiriendo un requerimiento hídrico de 5 l/s para 2.49 ha, de cultivo de alfalfa, y con ello garantizar el funcionamiento de los aspersores con un radio de alcance de 15 m.

#### **4.3. REALIZAR EL CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO TECNIFICADO EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE CHALLACOLLO DEL DISTRITO DE ACORA, PUNO, 2024.**

Para el cumplimiento al objetivo específico 3; Realizar el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la utilización de energía fotovoltaica para la aplicación de riego tecnificado en condiciones de invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024, tomando en consideración el diseño de la red hidráulica, tal como lo recomienda la R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI así mismo también el RNE EM.080 instalaciones con energía solar; presentando los siguientes resultados:

##### **4.3.1. Caudal de la fuente seleccionada**

En la tabla 13, se exhibe el caudal de pozo de agua propuesto como captación de agua para el sistema de bombeo; indicando que el caudal existente es de 0.0051m<sup>3</sup>/s equivalente a 5.10lps; siendo superior al caudal requerido para los cultivos en invernadero; por ende, el pozo de agua puede mantener el

suministro de agua en base a los requerimientos de agua de cultivos en invernadero.

**Tabla 13**

*Cálculo del caudal de agua*

Prueba	Velocidad de desplazamiento			Caudal		
	Distancia (D)	Tiempo (T)	Velocidad (Vd)	Área del pozo (Ap)	Caudal de aforo (Q)	Caudal asumido (Q)
	m	s	m/s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	0.025	7.00	0.00357	1.452	0.0052	
2	0.023	7.00	0.00329	1.452	0.0048	
3	0.025	7.00	0.00357	1.452	0.0052	0.0051
4	0.027	7.00	0.00386	1.452	0.0056	
5	0.024	7.00	0.00343	1.452	0.0050	

#### 4.3.2. Cálculo hidráulico del sistema de bombeo

a) Cálculo del caudal de bombeo

$$Qb = \frac{Vta}{T}$$

**Donde:**

**Vta:** Volumen del tanque (se asume 3m<sup>3</sup>, según diseño agronómico)

**T:** Tiempo (0.50horas)

**Reemplazando:**

$$Qb = \frac{3.00}{0.50}$$

$$Qb = 6m^3/h = 0.00167m^3/s$$



El caudal de bombeo será de  $0.00167\text{m}^3/\text{s}$ ; para lograr colmar el tanque de almacenamiento de  $3\text{m}^3$  a un tiempo de 0.5horas (media hora).

b) Cálculo del diámetro de impulsión y succión

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb}$$

**Reemplazando:**

$$D = 1.3 * \frac{0.5^{\frac{1}{4}}}{24} * \sqrt{0.00167}$$

$$D = 0.79\text{pulg.} = 1\text{pulg.}$$

El diámetro impulsión será de 1 pulgada, respectivamente; así mismo según lo normado, el diámetro de succión siempre será mayor al diámetro de impulsión; por ende, se asume un diámetro de succión de 2pulgadas.

c) Cálculo de la potencia de la bomba

**Hallando la velocidad:**

$$V = \frac{4 * Qb}{\pi * D}$$

$$V = \frac{4 * 0.00167}{\pi * (1 * 0.0254)}$$

$$V = 0.084\text{m/s}$$

La velocidad de desplazamiento del agua en la tubería de impulsión será de  $0.084\text{m/s}$ , respectivamente.



### Hallando la altura hidrodinámica total:

$$HDT = Hs + Hi + \Sigma hfs + \Sigma hfi + \frac{v^2}{2g} + Ps$$

**Donde:**

**HDT** : Altura hidrodinámica total

**Hs** : Altura de la tubería de succión (3.00m)

**Hi** : Altura de la tubería de impulsión (5.00m)

**$\Sigma hfs$**  : Pérdida de carga de la tubería de succión (0.00 por ser una instalación nueva)

**$\Sigma hfi$**  : Pérdida de carga de la tubería de impulsión (0.00 por ser una instalación nueva)

**V** : Velocidad del flujo de agua (0.084m/s)

**g** : Gravedad de la tierra (9.81 m/s<sup>2</sup>)

**Ps** : Presión de salida de agua (1mca)

**Reemplazando:**

$$HDT = 3 + 5 + 0 + 0 + \frac{0.084^2}{2 * 9.81} + 1$$

$$HDT = 9.00m. c. a$$

La altura hidrodinámica total será de 9.00m.c.a., respectivamente.

**Reemplazando en la ecuación de potencia de la bomba:**

$$HDT = 3 + 5 + 0 + 0 + \frac{0.084^2}{2 * 9.81} + 1$$

$$HDT = 9.00m. c. a$$

La altura hidrodinámica total será de 9.00m.c.a., respectivamente.



$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta}$$

**Donde:**

$\eta$  : Eficiencia de la bomba (70%)

**Reemplazando:**

$$Pb = \frac{1000 * 0.00167 * 9}{75 * 70}$$

$$Pb = 0.002857HP = 0.50HP$$

La potencia de la bomba será de 0.50HP, respectivamente.

#### 4.3.3. Cálculo de los módulos solares fotovoltaicos

a) Angulo de inclinación del panel

$$A = L - 23.5^{\circ} \text{sen} \left( \frac{T}{365.25} * 360^{\circ} \right)$$

**Donde:**

$L$ : Latitud de la zona en estudio (16.07°)

$T$ : Número de días pasados a partir del equinoccio de la primavera (180días)

**Reemplazando:**

$$A = 16.07 - 23.5^{\circ} \text{sen} \left( \frac{180}{365.25} * 360^{\circ} \right)$$

$$A = 15.01^{\circ}$$

El Angulo de inclinación optimo del panel solar en la zona en estudio será de 15.01°, con una orientación del panel hacia el norte magnético.



b) Altura del panel solar

$$h = \text{sen}(A) * 1570 + 200$$

$$h = \text{sen}(15.01) * 1570 + 200$$

$$h = 506.61\text{mm} = 0.51\text{m}$$

La altura del panel solar sobre la superficie en la zona en estudio será de 0.51m.

c) Distancia entre paneles solares

$$d = \frac{h}{\text{Tan}(61^\circ - A)}$$

$$d = \frac{0.51}{\text{Tan}(61^\circ - 15.01)}$$

$$d = 0.49\text{m}$$

La distancia entre paneles solares en el área en estudio será de 0.49m.

d) Potencia del generador de energía eléctrica (batería)

Inicialmente, hay que determinar la potencia total del generador solar.

Para ello se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$P_g = f \cdot S \cdot \frac{E_{POT.MAX.DIARIA}}{0.9 * HPT * KT}$$

**Donde:**

$E_{POT.MAX.DIARIA}$ : Potencia máxima diaria  
(radiación solar 2484.32 Wh/día; según lo hallado).



**HPT:** Hora sol pico (3.71 h/día – caso puno)

**KT:** Factor para el inversor = 1

**f. s.:** factor de seguridad = 1.2

**Reemplazando:**

$$P_g = 1.2 * \frac{2484.32}{0.9 * 3.71 * 1}$$

$$P_g = 892.84Wp$$

e) Potencia de la bomba en watio pico

Según menciona Arizaca (2022), para el funcionamiento de una bomba de 1HP es equivalente al requerimiento energético de 768Wp de energía eléctrica; ante ello en el presente estudio se determinó una potencia de la bomba de 0.50HP; por ende, le corresponde un requerimiento energético de 384Wp, para el funcionamiento de la bomba.

f) Potencia total de la bomba en watio pico

$$P_T = P_b * 1.6$$

**Reemplazando:**

$$P_T = 384 * 1.6$$

$$P_T = 614.40Wp$$

La potencia total nesositada para el funcionamiento de la bomba será de 614.40wp.

g) Potencia total de la bomba en watio pico

$$P_T = P_b ** 1.6$$



**Reemplazando:**

$$P_T = 384 * 1.6$$

$$P_T = 614.40Wp$$

La potencia total requerida para el funcionamiento de la bomba será de 614.40wp.

h) Cantidad de paneles solares necesarios

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{Wp \text{ bomba}}{Wp \text{ Panel Solar}}$$

**Reemplazando:**

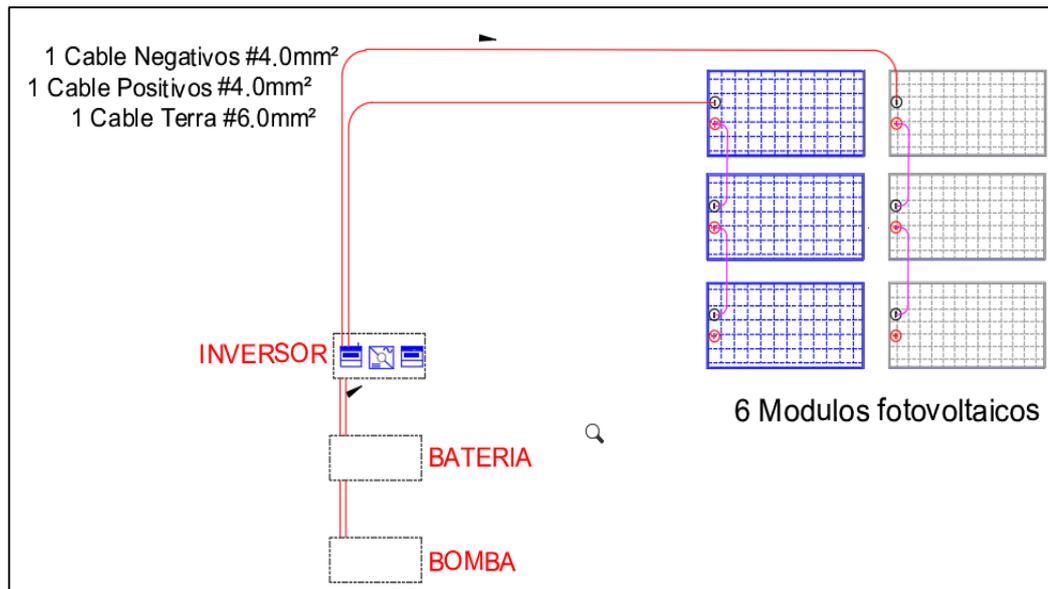
$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{614.40}{100}$$

$$\text{Cantidad de paneles} = 6$$

Para el funcionamiento de la bomba se requiere 6 paneles solares de 100Wp de potencia cada una; (3 paneles en serie y 2 en paralelo), tal como se exhibe en la figura 29.

**Figura 29**

*Módulos fotovoltaicos propuestos*



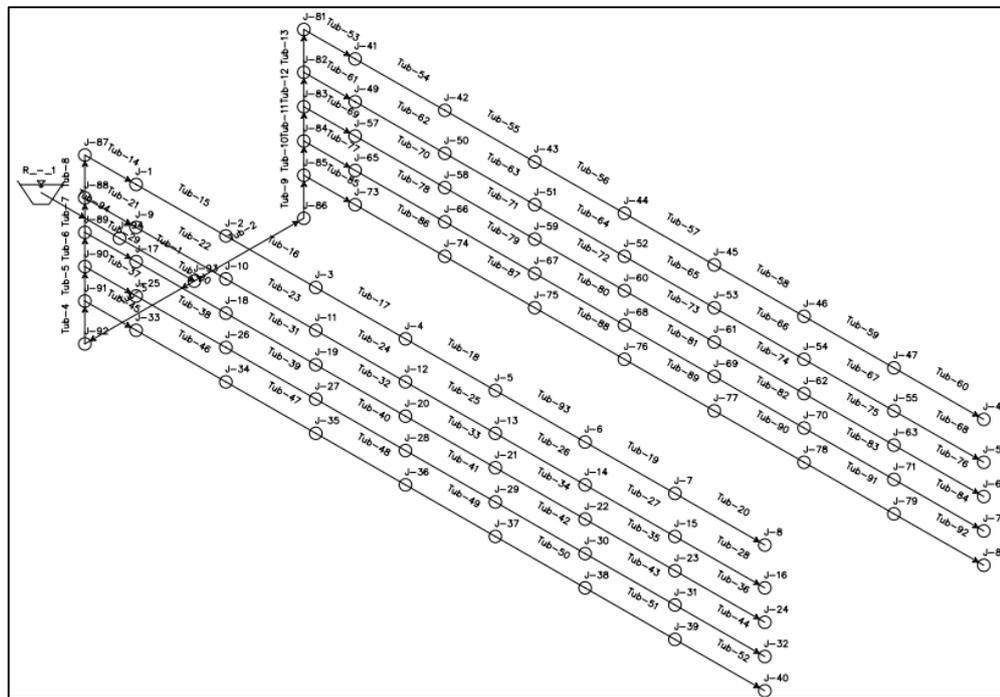
#### 4.3.4. Cálculo hidráulico de las líneas de riego

La presión, velocidades, longitud de tubería y caudal resultantes, entre otros, se verificaron en el software WaterCAD, utilizando la fórmula de Hazen Williams, con el fin de optimizar el tiempo del trabajo.

En la figura 30, se aprecia el sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el invernadero propuesto; encontrando que los nodos comprendidos desde el J-1 al J-99, respectivamente; así mismo según la simulación (**anexo 11**), la longitud total de la red es de 118.80m; con presiones que fluctúan entre 37.71m.c.a. a 39.96m.c.a., garantizando el requerimiento hídrico de los cultivos, así mismo presenta un diámetro de 21.86mm del reservorio hacia el primer nodo de la red. Mientras que los demás diámetros son de 15.86mm y 9.86mm, con velocidades de 0.02m/s a 0.41m/s, respectivamente.

**Figura 30**

*Sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el invernadero propuesto*



#### 4.3.5. Consideraciones para la instalación del módulo solar fotovoltaico

- Los módulos fotovoltaicos deben construirse permanentemente lo más cercana posible de la fuente hídrica, evitando posibles áreas inundables y rutas de paso de animales.
- A lo largo del día, especialmente de 10.00 a 15.00 horas, no debe presentar impedimentos (árboles u otras construcciones) que proyecten sombras sobre las estructuras.
- El norte magnético debe ser la dirección hacia la que miren los módulos solares.
- El ángulo del panel con respecto a la horizontal debe ser de al menos 5 grados, pero no inferior a 15 grados, según la latitud del emplazamiento.



- Hay que ajustar cuidadosamente la estructura para evitar que el movimiento del viento cambie la orientación de la disposición. Para un aprovechamiento óptimo de la energía solar en base de la época del año, es importante elegir edificios que permitan ajustar el ángulo de inclinación. Está permitido instalar los seguidores siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Deben utilizarse correas o bridas de plástico negro para sujetar firmemente los conductos eléctricos, si los hubiera, al edificio.
- Cada módulo debe tener un mínimo de cuatro tornillos de acero inoxidable para fijarlo a la estructura.

#### **4.3.6. Consideraciones del sistema de tierra y sistemas de protección contra sabotaje del módulo solar fotovoltaico**

- Si el conjunto tiene tres a más módulos conectados en serie, es aconsejable que el conductor negativo del conjunto esté conectado a la toma de tierra del sistema. Esto no es aplicable si el conductor negativo está interconectado a tierra internamente por el controlador o si la arquitectura del controlador impide que el conductor negativo esté interconectado a tierra. Respecto a este criterio, se aconseja consultar al fabricante del controlador. Consulte al fabricante de la bomba si no hay un controlador en el sistema.
- Se aconseja que sea en la altura del interruptor del conjunto donde se forme la toma de tierra del conductor negativo. En cualquier caso, el cableado de puesta a tierra del equipo y, en su situación, del sistema debe ser de cobre



desnudo o de cobre verde aislado con un calibre no inferior al del conductor primario del conjunto.

- El cableado de puesta a tierra del equipo (en cualquier caso) y el cable de puesta a tierra del sistema (si continua) deben ser de cobre desnudo o aislamiento verde y tener un calibre no menor al del conductor principal del grupo.
- Para proteger los circuitos eléctricos en zonas con alta actividad atmosférica, se recomiendan los diseños con un sistema de puesta a tierra y un sistema de protección contra sobretensiones (descargador de sobretensiones) conectado a los cables del campo fotovoltaico. Se aconseja instalar el descargador de sobretensiones en el apartado de distribución de campo.

#### **4.3.7. Consideraciones del soporte y estructura del módulo solar fotovoltaico**

- El armazón puede ser de aluminio anodizado o acero galvanizado. Todos los soportes deben garantizar la resistencia a la corrosión.
- Es necesaria una cimentación de concreto armado lo suficientemente grande como para resistir ráfagas de hasta 150 km/h.
- Para cada aclaración, hay que ponerse en contacto con la normativa de construcción de la entidad pertinente.

#### **4.3.8. Consideraciones de la bomba y motor**

- Los módulos tienen que ser nuevos, y actuales.
- Deben fabricarse y diseñarse específicamente para el bombeo solar.



- Los dispositivos de superficie, centrífugos, sumergibles y de desplazamiento positivo (diafragma, pistón o cilindro) de la bomba tienen que ser resistentes a la corrosión.

#### **4.3.9. Consideraciones para el cableado y conexiones eléctricas del arreglo fotovoltaico.**

- Excepto en el caso de empalmes de cableados de bombas sumergibles, todas las conexiones y el cableado deben realizarse dentro de armarios de fácil acceso destinados al uso en exteriores.
- Para todo el cableado y las conexiones deben utilizarse terminales conectores de dimensión y tipo idóneos para el conductor.
- Todas las conexiones eléctricas deben disponer de alivio de tensión.
- La unión de la bomba sumergible o del sensor (si procede) debe aislarse con tubo termocompresible marino o encapsulante de resina.
- Para asegurarse de que los cables que se dirigen al pozo (al motor o a los sensores) están firmemente sujetos, utilice cinta aislante, correas resistentes a la corrosión.
- Para prever futuros ajustes o reparaciones, debe haber 20 centímetros más de cableado en todos los nodos de conexión.
- Tanto si tienen conductos como si no, los puntos de ingreso de los cables del grupo en las cajas de conectores de los módulos deben sellarse para impedir la entrada de agua.
- Si se requieren conductores de cable, deben emplearse terminales de clase anillo y unirse con abrazaderas fabricadas principalmente para esta función.



- El cableado que va del control a la boca del pozo -o, si es forzoso, al sensor en el tanque- deben enterrarse a 30 cm de profundidad en conductos no metálicos para evitar daños físicos.
- Todas las aberturas y cubiertas de los armarios eléctricos y las cajas de conexiones tienen que ser sellados para evitar la entrada de humedad e insectos.

#### **4.3.10. Otras partes y componentes**

- Si se va a utilizar un motor de escobillas, el proveedor deberá proporcionar un juego para sustituto del modelo recomendado por el distribuidor.
- Si se va a emplear una bomba de pistón, deberá proporcionarse un juego nuevo de juntas o diafragmas del distribuidor.

Dichos resultados en base al estudio efectuado por Silva, Olaya, & Melo (2022), el cual implemento el sistema de bombeo fotovoltaico; donde genero una disminución de energía y aumento los rendimientos agrícolas, donde apoyó la transición energética y ayudó a disminuir parte del daño medioambiental que las explotaciones de palma aceitera creaban al desperdiciar un líquido valioso, haciendo uso de las energías renovables; además con respecto al estudio realizado Munive & Pereira (2022), presentan características similares al presente estudio; encontrando que la bomba necesitara 0.85kW o en su defecto 1HP de potencia fotovoltaica. Fue necesario disponer de dos paneles solares de 330W y dos baterías de 100Ah para suministrar la electricidad necesaria para el sistema de riego y la bomba.



Además, con respecto al estudio realizado por Jara (2021), presentan cierta similitud; determinando que para satisfacer la demanda de recursos hídricos, el generador solar para el bombeo debería constar de 28 paneles con una potencia total de 380 Wp conectados en 14 series, 2 cadenas en paralelo, y 1 electrobomba sumergible con un caudal máximo de agua de 1000 l/min y una carga dinámica total de 27,5 m; siendo sustentable a largo plazo; También con respecto a Arizaca (2022), se asemejan; porque en su estudio encontró una bomba de 1 Hp (768 Wp), suministrando energía con 25 paneles solares de 50 Wp (c/u) para que funcione; así mismo requirió 105 aspersores, preservando una presión no inferior a 30 m.c.a., en cada línea de riego, manifestando que el empleo del sistema de riego con el bombeo fotovoltaico, consentirá el ahorro del costo energético a razón de que se utilizará energías renovables, la misma que beneficiará la productividad de los cultivos en épocas de sequía; y finalmente con respecto a Vilca (2021), también presentan cierta similitud con el presente estudio; encontrando que para el estudio se necesita un total de dieciocho paneles solares de 320 vatios, capaces de funcionar sin necesidad de baterías. Por consiguiente, el empleo de energías alternativas -en este ejemplo, la energía solar para bombear agua- es beneficioso para los cultivos, ya que puede aumentar la productividad y ayudar en casos de sequía y escasez de agua.



## V. CONCLUSIONES

- Según los resultados se concluye que la radiación solar global sobre el área en estudio es de 2486.32 Wh/m<sup>2</sup> mientras que según la plataforma web Global Solar Atlas da una radiación solar de 2476.30 Wh/m<sup>2</sup>; además la Plataforma web de la NASA' da una radiación solar de 2361.41; Wh/m<sup>2</sup> presentando datos con cierta similitud conllevando a decir que los cálculos fueron realizados con veracidad y exactitud.
- Según los resultados se concluye que el requerimiento hídrico de los cultivos de hortalizas; Lechuga, Alcachofa, Acelga, Brócoli, y Repollo; en invernadero para 158.65m<sup>2</sup> será de 0.17 m<sup>3</sup> de agua por día; todo ello para garantizar la subsistencia de los cultivos; y además el caudal requerido para el sistema será de 0.311lps (0.000311 m<sup>3</sup>/s)
- Según los resultados se concluye que el caudal de bombeo será de 0.0167m<sup>3</sup>/s, para el abastecimiento de agua al tanque de almacenamiento de 3m<sup>3</sup>, con un diámetro de impulsión de 1pulg.; con una potencia de la bomba de 0.50HP; así mismo el Angulo de inclinación optimo del panel será de 15.01°, con altura del panel solar sobre la superficie terrestre de 0.51m., a distancias de 0.49m de cada panel, y requiriendo una potencia total de 614.40Wp para el funcionamiento de la bomba de agua; por ello se requerirá 6 paneles solares de 100Wp de potencia cada una; (3 paneles en serie y 2 en paralelo)



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda presentar dicha propuesta tecnológica a las entidades competentes con la finalidad de buscar capital para el desarrollo del sistema fotovoltaico y así poder suministrar a más invernaderos presentes en la región de Puno donde no cuentan con servicios básicos como agua y energía eléctrica.
- Se recomienda para evitar la sombra del invernadero, aumentar la altura de los paneles solares.
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico de los módulos solares para que el sistema de bombeo solar funcione correctamente, tratando de evitar el almacenamiento de suciedad en la superficie del módulo, que puede reducir su eficiencia y vida útil.
- Se recomienda que los futuros investigadores busquen otros enfoques para desarrollar nuevos dispositivos de almacenamiento de agua y energía. Además, investiguen sobre sistemas de riego automatizados para lograr una mejoría aún más este sistema con el fin de integrar mejor la generación dispersa y aprovechar mejor la energía solar.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aquino, E. (2017). *Determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca región Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arceda, M., & Hernandez, A. (2021). *Proyecto de riego por goteo utilizando energía solar para el cultivo de aguacate en la finca ojo de agua en la localidad de san francisco libre*. Managua: Universidad nacional de ingeniería.
- Arhuire, I., & Hanco, L. (2020). *Caracterización de la radiación solar en Puno para el diseño de un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arizaca, A. (2022). Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla. *Universidad Nacional del Altiplano*, 1 - 11.
- AutoSolar. (06 de Abril de 2020). *Energía Solar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/energia-solar-fotovoltaica-que-es-beneficios>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Mexico: Grupo Editorial Patria. Obtenido de [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)
- Barzola, O. (2019). *Elaboración de un sistema aeropónico con energía fotovoltaica para producción hortícola como técnica de cultivo sostenible y autosuficiente en el ecosistema urbano*. Villa El Salvador : Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur .



- Bermeo, E., & Silva, A. (2022). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado Puerto Tamborapa, distrito Chirinos - San Ignacio. *Universidad Nacional del Jaén*, 1 - 11.
- Bustamante, J. (2019). *Sistema de agua potable con energía solar fotovoltaica para el Caserío la Represa, Distrito de Jayanca, Provincia y Departamento de Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz, Gallo.
- Cabrera, C. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar fotovoltaica para suministrar agua potable a la población de Maynas – Perú*. Maynas: UNAC.
- Caicedo, S. (2019). *Estudio técnico de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la Universidad Piloto de Colombia como caso de estudio*. Bogota: Universidad Piloto de Colombia.
- Cardenas, A. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar fotovoltaico aplicado al riego agrícola*. Milagro: Universidad Estatal de Milagro.
- Carmona, O., Vidal, A., Martinez, A., Conde, J., & Tinoco, J. (2016). Estudio de la viabilidad técnica para la implementación de un sistema de autoconsumo eléctrico básico en paneles fotovoltaicos para una vivienda. *Institución Universitaria Salazar y Herrera*, 29 - 38.
- Cely, L., González, A., Granados, A., & Ramirez, R. (2018). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. *Revista ambiental: Agua, aire y suelo*, 2 - 11.
- Cerdan, A. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México*. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.



- Cerna, L. (2021). *Diseño del Sistema de Bombeo con Energía Sustentable Para Abastecer Agua de Riego al Anexo Chakiqpampa – Vinchos – Huamanga – Ayacucho*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Chandel, S., & Naik, M. (2015). *Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* - ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Chozo, C. (2019). *Diseño de sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al sistema de bombeo del fundo El Ciruelo caserío la Pintada-Túcume*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Davalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaen – Cajamarca*. Jaen: Universidad Nacional de Jaén.
- Davila, C. (2022). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico para riego agrícola en el caserío San Lorenzo, distrito de Cajaruro, Utcubamba – Amazonas*. Bagua Grande: Universidad Politecnica Amazónica.
- Díaz, V. (2018). *Análisis de las condiciones energética y operativa de la estación de bombeo de Navarro de aguas residuales para la elaboración de un modelo de gestión energético*. Vitela: Universidad de Vitela.
- FAO. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Honduras: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Honduras: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- FAO. (2022). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. En O. d. Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje.



- Flores, J. (2018). *Estudio de factibilidad de uso de energía fotovoltaica para abastecer de agua potable al caserío Túpac Amaru, Olmos, 2018*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Gorka, E. (2012). *Automatización de sistema de Riego por goteo*. España: Universidad Pública de Navarra.
- Gualancañay, D., & Jaguaco, H. (2017). *Diseño de un sistema de bombeo para almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chan Chico y Riobamba de la parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Heredia, C., & Sánchez, D. (2017). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico por goteo automatizado para terrenos de cultivo de espárragos del fundo inca verde en el sector pampas la Sandia provincia de Chepén - departamento de la Libertad*. Pimentel: Universidad señor de Sipán.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Herrera, R., & Vera, J. (2020). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro Poblado Roblepampa, Utcubamba – Amazonas*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén.
- Hospital, K., & González, L. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Huaquisto, E. (2021). *Manual de diseño rural*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Jara, H. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupe – La Libertad*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.



- Jara, H. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupito – La Libertad*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Jara, J., & Ramos, J. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Jara, J., & Ramos, J. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Jiménez, R. (2021). *Estudio y diseño de una instalación solar fotovoltaica para el bombeo de agua para riego de 14 hectareas para viñedo en el fundo “El Cortijo” - Chile*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Llanca, W. (2021). *Diseño de un sistema hidráulico de extracción de agua salobre de pozo profundo para satisfacer la demanda de planta de tratamiento de agua para la empresa*. Callao: Universidad nacional del Callao.
- Llatas, E. (2018). *Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m<sup>3</sup>/h para ahorrar consumo de agua en el parque de avenida separadora industrial – Vitarte*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Mamani, W., & Cuba, D. (2019). *Bases teóricas para operatividad del sistema de bombeo de abastecimiento de agua potable con suministro de energía fotovoltaica en Collana-Taraco-Huancane-Puno-2019*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- Maraví, C. (2018). *Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de Yaurisque-Cusco*. Cusco: UNALM.
- Mejía, E. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica*. *Revista Científica Pakamuros*, 73 - 88.



- Meneses, D. (2013). *Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y proyecto de mejoramiento en la Población de Nanegal, Cantón Quito, Provincia de Pichincha*. Quito: Universidad Internacional de Ecuador.
- Munive, S., & Pereira, J. (2022). 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. *Universidad Antonio Nariño*, 1 - 11.
- Munive, S., & Pereira, J. (2022). *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*. Cartagena: Universidad Antonio Nariño.
- Nina, G. (2022). *Diagnóstico de factores climáticos para el diseño de un mini establo de ganado vacuno en el centro poblado Bajo Pavita – Zepita – Chucuito, 2021*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Palomino, E. (2016). “*Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa*”. 2016: universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Pedraza, C. (2020). *Proyecto de riego utilizando energía solar para el cultivo de limones en la finca contador del municipio de Viani*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Peralta, D., & Castillo, M. (2016). *Diseño De Sistema De Riego Por Aspersión Automatizado Con Uso De Energía Renovable Para El Centro Olímpico Juan Pablo Duarte*. Santo Domingo: Universidad Nacional Pedro Henríquez ureña unphu.
- Ramos, H., & Luna, R. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el area de estacionamiento de la universidad tecnologica de salamanca*. Chihuahua: Universidad Tecnologica de Salamanca.



- Redondo, J. (2020). *Diseño de dos instalaciones de bombeo para riego agrícola con suministro eléctrico mediante energía solar fotovoltaica aislada de la red en San Clemente*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Rondan, E. (2016). *Diseño de un sistema de riego para el cultivo de alfalfa en la localidad de Cotaparaco, provincia de Recuay, región Áncash*. Áncash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Sangucho, J., & Villacis, B. (2021). 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. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 1 - 10.
- Silva, J., Olaya, N., & Melo, A. (2022). Diseño de un sistema de riego con bombeo solar fotovoltaico para un cultivo de palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa. *Corporación universitaria de Meta*, 1 - 13.
- Trillo, F. (2019). *Bombeo mediante energía solar fotovoltaica para riego de Olivar*. Jaen: Universidad de Jaen.
- Valenzuela, B. (2020). *Determinación del punto de máxima potencia en sistemas de bombeo solar fotovoltaico utilizando el algoritmo perturbación observación P&O*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Valero, W. (2018). *Diseño y cálculo de un sistema fotovoltaico para riego con agua subterránea en el distrito de caminaca provincia de azángaro - puno*. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquéz.
- Vargas, B. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo de agua subterránea con energía solar fotovoltaica para riego en la comunidad de Valencia*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.



- Vargas, T. (2021). *Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para la óptima extracción y bombeo de agua para riego agrícola, en el C.P. aguas calientes.* 2021: Universidad Privada del Norte.
- Vargas, T. (2021). *Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para la óptima extracción y bombeo de agua para riego agrícola, en el C.P. Aguas Calientes, 2021.* Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Vilca, J. (2021). *Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China. . *En Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1 - 9.



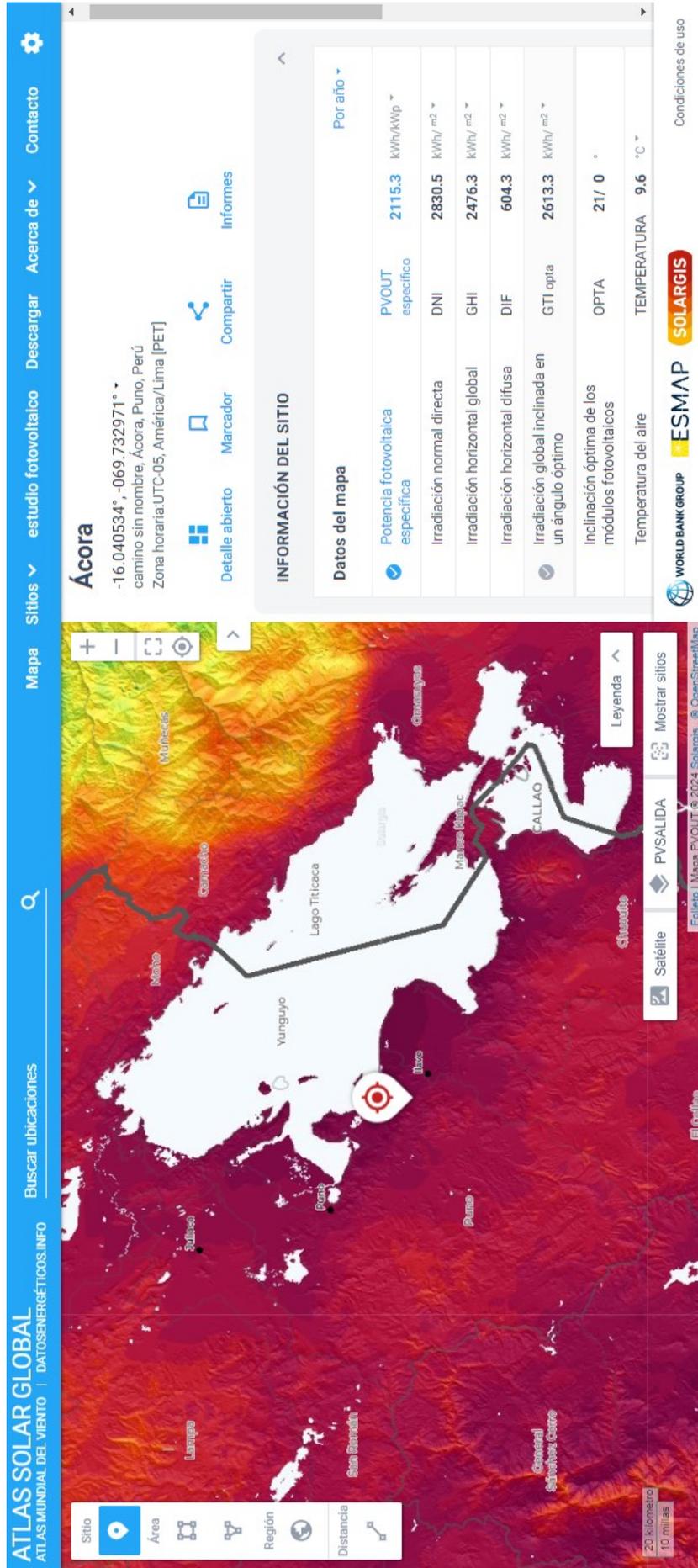
## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

<u>PROBLEMA</u>	<u>OBJETIVO</u>	<u>HIPÓTESIS</u>	<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>METODOLOGÍA</u>
<p><b>General</b> ¿Cómo será el diseño de un sistema de bombeo de agua mediante la aplicación de energía fotovoltaica para riego de hortalizas en invernadero en la comunidad campesina de Challacollo, Acora, Puno?</p>	<p><b>General</b> Proponer el diseño de un sistema de bombeo de agua mediante la aplicación de energía fotovoltaica para riego de hortalizas en invernadero en la comunidad campesina de Challacollo, Acora, Puno</p>	<p><b>Hipótesis Alterna</b> El diseño propuesto de un sistema de bombeo de agua mediante la aplicación de energía fotovoltaica será la adecuada para el riego de hortalizas en invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024</p>	<p><b>Independiente</b> Energía fotovoltaica (solar)</p>	<p>Radiación solar existente</p> <p>Módulos solares fotovoltaicos</p>	<p>Radiación solar directa</p> <p>radiación solar difusa</p> <p>Radiación solar albedo</p> <p>Angulo de inclinación</p> <p>Tensión nominal</p> <p>Inversor</p> <p>Cantidad de paneles solares</p> <p>Paneles en serie y paralelo</p> <p>Potencia fotovoltaica</p> <p>Lechuga</p> <p>Alcachofa</p> <p>Acelga</p> <p>Brócoli</p> <p>Yerba buena</p> <p>Evapotranspiración real</p> <p>Evapotranspiración de referencia</p> <p>Lamina neta de riego</p> <p>Lamina bruta de riego</p> <p>Frecuencia de riego</p> <p>Demanda de agua requerida</p> <p>Caudal requerido para el sistema</p> <p>Diámetro de la tubería de impulsión</p>	<p>W</p> <p>h/m<sup>2</sup></p> <p>W</p> <p>h/m<sup>2</sup></p> <p>W</p> <p>h/m<sup>2</sup></p> <p>°</p> <p>W</p> <p>p</p> <p>W</p> <p>p</p> <p>Un</p> <p>d</p> <p>Un</p> <p>d</p> <p>W</p> <p>p</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m/día</p> <p>días</p> <p>m</p> <p>3</p> <p>m</p> <p>3/s</p> <p>Pu</p> <p>lg.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Aplicativo</p> <p>o</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>No experimental</p>
<p><b>Específicas</b> ¿Cuánto es la radiación solar existente en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?  ¿Cuánto es el requerimiento hídrico de los cultivos en invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024?  ¿Cuál es el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la aplicación de energía fotovoltaica en la comunidad</p>	<p><b>Específicas</b> Determinar la radiación solar existente en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024  Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos en invernadero para la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024  Realizar el cálculo hidráulico del sistema de bombeo mediante la aplicación de energía fotovoltaica en la</p>	<p><b>Hipótesis Nula</b> El diseño propuesto de un sistema de bombeo de agua mediante la aplicación de energía fotovoltaica no la adecuada para el riego de hortalizas en invernadero en la comunidad campesina de Challacollo del distrito de Acora, Puno, 2024</p>	<p><b>Dependiente</b></p> <p>Diseño de un sistema de bombeo de agua</p>	<p>Cultivos en invernadero</p> <p>Requerimiento hídrico del cultivo</p>	<p>Potencia fotovoltaica</p> <p>Lechuga</p> <p>Alcachofa</p> <p>Acelga</p> <p>Brócoli</p> <p>Yerba buena</p> <p>Evapotranspiración real</p> <p>Evapotranspiración de referencia</p> <p>Lamina neta de riego</p> <p>Lamina bruta de riego</p> <p>Frecuencia de riego</p> <p>Demanda de agua requerida</p> <p>Caudal requerido para el sistema</p> <p>Diámetro de la tubería de impulsión</p>	<p>W</p> <p>p</p> <p>Un</p> <p>d</p> <p>Un</p> <p>d</p> <p>W</p> <p>p</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m</p> <p>m/día</p> <p>m/día</p> <p>días</p> <p>m</p> <p>3</p> <p>m</p> <p>3/s</p> <p>Pu</p> <p>lg.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Aplicativo</p> <p>o</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>No experimental</p>



## Anexo 2. Radiación solar mediante global Solar Atlas



*Nota.* Obtenido de la plataforma web de global Solar Atlas para el área en estudio

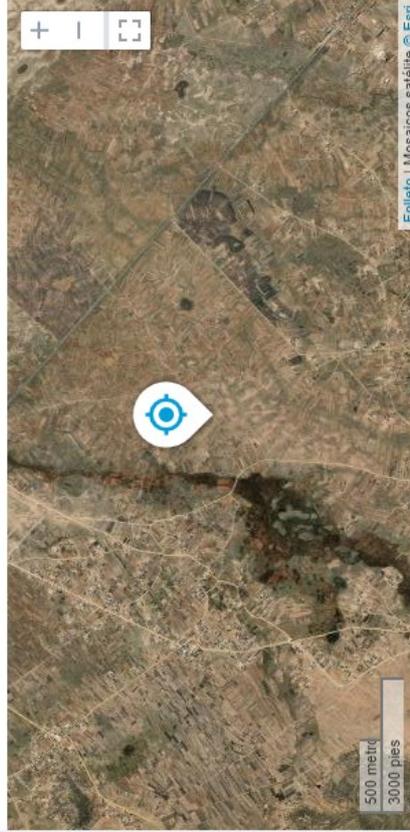
### INFORMACIÓN DEL SITIO

Datos del mapa Por año

Potencia fotovoltaica específica	PVOUT específico	2115.3 kWh/kWp
Irradiación normal directa	DNI	2830.5 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación horizontal global	GHI	2476.3 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación horizontal difusa	DIF	604.3 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación global inclinada en un ángulo óptimo	GTI opta	2613.3 kWh/m <sup>2</sup>
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	21/ 0 °
Temperatura del aire	TEMPERATURA	9.6 °C
Elevación del terreno	ELE	3841 metro

Mapa

Cambiar al mapa



### Horizonte y camino solar

mapa PVOUT

*Nota.* Obtenido de la plataforma web de global Solar Atlas para el área en estudio



### Anexo 3. Radiación solar mediante la plataforma de la NASA

The screenshot displays the PODER | DAVE web application interface. At the top, it shows the logo and version (Beta v2.1.7) along with the text 'Predicción de los recursos energéticos mundiales (POWER) | Visor de acceso a datos mejorado (DAVe)'. Below this is a navigation menu with options: Punto único, Regional, Global, Más, Proyecciones, Documentación, Tutorial, and Colapsar. The main content area lists several data services, each with a 'Ver' (View) icon:

- CLRSKY\_SRF\_ALB
- Incidente de insolación del mediodía (MEDIODÍA\_INSOL)
- Agua precipitable (VP)
- Horas del día de geometría solar (SG\_DAY\_HOURS)
- Radiación normal directa de onda corta en la parte superior de la atmósfera (TOA\_SW\_DNI)
- Irradiación descendente de onda corta en la parte superior de la atmósfera (TOA\_SW\_DWN)
- Temperatura de la piel de la Tierra ajustada (TS\_ADJ)
- Meteorología Anual

An expanded view of the 'Radiación normal directa de onda corta' service is shown in the foreground. It includes a color scale legend ranging from 2361.41 to -16.02, with a minimum value of -69.62. The service description reads: 'Servicio: Capa de radiación anual; Radiación normal directa de onda corta en la parte superior de la atmósfera. Unidades: W m-2'. A date selector is set to 2022, with a range from 1984 to 2022. The interface also features a 'Comentario' button, a 'Modo de luz' button, and a 'Desarrollado por ESI' footer.

Anexo 4. Plantilla de cálculo de la radiación solar en base a las ecuaciones del libro de Photovoltaic Science and Engineering

**PARAMETROS DE DISEÑO  
RADIACION SOLAR**

**Determinación la radiación solar: Libro de Luque (2002) "Photovoltaic Science and Engineering"**

Simbolo	Parametros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
$d_n$	Días del año	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345
$\delta$	Angulo de declinación solar (°)	-21.27	-13.61	-2.42	9.41	18.79	-23.27	-21.26	14.42	3.42	-8.48	-18.17	-23.12
$\phi$	Latitud de la zona en estudio (°)	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07
$\omega_s$	Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal (°)	-83.56	-86.00	-89.30	-92.74	-95.62	-82.88	-83.56	-85.75	-90.98	-87.54	-84.57	-82.94
$\theta$	Angulo de inclinación de la superficie del area en estudio (°)	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32
$\omega_{ss}$	Angulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado (°)	-83.56	-86.00	-89.30	-92.74	-95.62	-82.88	-83.56	-85.75	-90.98	-87.54	-84.57	-82.94
$\varepsilon_0$	Factor de excentricidad	1.03	1.02	1.03	1.00	0.98	1.03	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03
$I_0$	Factor de incidencia	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367
$H_0$	Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	8287.91	9192.65	9970.34	10777.80	10895.35	8023.52	8289.16	10879.96	10538.75	9698.11	8567.30	8043.98
$G_0$	Irradiación global horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861
$K_{tm}$	Indice de Claridad (Wh/m <sup>2</sup> )	0.225	0.202	0.187	0.173	0.171	0.232	0.225	0.171	0.177	0.192	0.217	0.231
$FDm$	Fracción difusa (Wh/m <sup>2</sup> )	0.746	0.771	0.789	0.805	0.807	0.738	0.746	0.807	0.800	0.783	0.755	0.739
$D_0$	Radiación difusa sobre un plano horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	1388.80	1435.27	1468.48	1497.89	1501.81	1373.24	1388.87	1501.30	1489.65	1457.46	1404.20	1374.48
$H_{dm}$	Radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	472.20	425.73	392.52	363.11	359.19	487.76	472.13	359.70	371.35	403.54	456.80	486.52
$F$	Factor de corrección	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
$H(\beta, \alpha)$	Radiación solar directa (Wh/m <sup>2</sup> )	1293.83	1166.49	1075.50	994.93	984.19	1336.46	1293.63	985.59	1017.50	1105.69	1251.64	1333.06
$D(\beta, \alpha)$	Radiación solar difusa o (Wh/m <sup>2</sup> )	1388.80	1435.27	1468.48	1497.89	1501.81	1373.24	1388.87	1501.30	1489.65	1457.46	1404.20	1374.48
$\rho$	Reflectancia del suelo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
$AL(\beta, \alpha)$	Radiación solar Albedo (Wh/m <sup>2</sup> )	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
<b>RG</b>	<b>Cálculo de la radiación solar global (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2682.95</b>	<b>####</b>	<b>####</b>	<b>####</b>	<b>2486.32</b>	<b>2710.02</b>	<b>2682.82</b>	<b>2487.20</b>	<b>2507.47</b>	<b>2563.48</b>	<b>2656.15</b>	<b>2707.86</b>

Anexo 5. Plantilla de cálculo de la evapotranspiración de referencia Eto para cultivo de hortalizas

**PARAMETROS DE DISEÑO  
EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (Eto)**

**METODO PENMAN-MONTEITH**

Simbolo	Parametros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
$\mu_2$	Velocidad del viento a 2m. De altura (m/s)	1.46	1.22	1.32	1.22	1.21	1.45	1.53	1.93	1.94	1.94	1.89	1.43
$\gamma$	Constante psicrométrica (Kpa/°C)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$\Delta$	Pendiente de la curva de Presion de vapor (Kpa/°C)	0.16	0.16	0.15	0.15	0.13	0.10	0.10	0.10	0.13	0.12	0.14	0.14
es	Presion de vapor de saturacion (Kpa)	2.76	2.70	2.61	2.59	2.42	2.07	1.94	2.42	2.47	2.32	2.57	2.47
ea	Presion dreal de vapor (Kpa)	2.13	2.17	2.11	2.15	1.98	1.65	1.50	1.95	1.99	1.82	1.97	1.87
Rn	Radiacion neta en la superficie del cultivo (MJ/m2/dia)	8.91	8.37	7.88	7.92	8.25	7.66	8.52	9.67	9.73	9.27	9.13	8.63
G	Flujo de calor del suelo (MJ/m2/dia)	0.27	0.00	-0.10	-0.08	-0.35	-0.55	-0.15	0.19	0.50	-0.12	0.41	-0.04
T	Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)	11.47	11.48	10.77	10.20	7.72	3.78	2.74	4.12	7.67	6.84	9.78	9.52
<b>EVAPOTRANSPIRACION PROMEDIO DIARIA</b>		<b>3.07</b>	<b>2.87</b>	<b>2.74</b>	<b>2.67</b>	<b>2.78</b>	<b>2.58</b>	<b>2.70</b>	<b>3.03</b>	<b>3.07</b>	<b>3.11</b>	<b>3.10</b>	<b>3.02</b>
<b>DIA POR MES</b>		31	29	31	30	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.000	30.000	31.000
<b>EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL</b>		<b>95.23</b>	<b>83.34</b>	<b>84.91</b>	<b>80.08</b>	<b>86.13</b>	<b>77.42</b>	<b>83.75</b>	<b>93.91</b>	<b>92.01</b>	<b>96.38</b>	<b>93.12</b>	<b>93.56</b>
Para cuestiones de diseño hidraulico se asume el mes que tuvo mayor evapotranspiracion													

Anexo 6. Plantilla de diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión para cultivo de hortalizas

**PARAMETROS DE DISEÑO  
CALCULO AGRONOMICO**

**Diseño Agronómico Referencia: Manual para el diseño de sistemas de riego**

Simbolo	Parametros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<i>Eto</i>	Evapotranspiracion de Cultivo de referencia	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
<i>Kc</i>	Coefficente de cultivo (hortalizas)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
<i>Etc</i>	<b>Evapotranspiracion de Cultivo (mm/dia)</b>	<b>3.23</b>	<b>3.02</b>	<b>2.88</b>	<b>2.80</b>	<b>2.92</b>	<b>2.71</b>	<b>2.84</b>	<b>3.18</b>	<b>3.22</b>	<b>3.26</b>	<b>3.26</b>	<b>3.17</b>
<i>Ln</i>	<b>Lamina neta de riego (mm/dia)</b>	<b>0.95</b>											
%	Eficiencia de aplicacion (%)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
<i>Lb</i>	<b>Lamina bruta de riego (mm/dia)</b>	<b>1.05</b>											
<i>I</i>	Intervalo o Frecuencia de riego (mm/dia)	0.29	0.31	0.33	0.34	0.32	0.35	0.33	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30
<i>Tr</i>	Tiempo de riego (Horas)	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
<i>D</i>	Demanda de agua requerida "158.65m <sup>2</sup> " (m3)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
<i>Q</i>	Caudal necesario para el sistema (m3/s)	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Caudal necesario para el sistema (l/s)	0.311	0.332	0.349	0.358	0.344	0.370	0.353	0.315	0.311	0.307	0.308	0.316
Por cada linea de riego													
<b>TURNOS DE RIEGO</b>													

**Anexo 7. Cuadro de radiación solar extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes**

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} d_i [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (\text{Ec. 21})$$

(valores en MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>

Hemisferio Norte												Hemisferio Sur												
Lat. grad.												Lat. grad.												
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	
0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,9	4,9	0,1	0,0	7,0	41,4	28,6	15,8	4,9	0,2	0,0	0,0	2,2	10,7	23,5	37,3	45,3
0,1	3,7	11,7	23,9	35,3	42,0	38,9	28,6	16,1	6,0	0,7	0,0	6,8	41,0	29,3	16,9	6,0	0,8	0,0	0,0	3,2	11,9	24,4	37,4	44,7
0,6	4,8	12,9	24,8	35,6	41,4	38,8	29,3	17,3	7,2	1,5	0,1	6,6	40,9	30,0	18,1	7,2	1,5	0,1	0,5	4,2	13,1	25,4	37,6	44,1
1,4	5,9	14,1	25,8	35,9	41,2	38,8	30,0	18,4	8,5	2,4	0,6	6,4	41,0	30,8	19,3	8,4	2,4	0,6	1,2	5,3	14,4	26,3	38,0	43,9
2,3	7,1	15,4	26,6	36,3	41,2	39,0	30,6	19,5	9,7	3,4	1,3	6,2	41,2	31,5	20,4	9,6	3,4	1,2	2,0	6,4	15,5	27,2	38,3	43,9
3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,9	4,4	2,2	6,0	41,5	32,3	21,5	10,8	4,4	2,0	2,9	7,6	16,7	28,1	38,7	43,9
4,3	9,6	17,7	28,4	37,0	41,3	39,4	32,0	21,7	12,1	5,5	3,1	5,8	41,7	33,0	22,6	12,0	5,5	2,9	3,9	8,7	17,9	28,9	39,1	44,0
5,4	10,8	18,9	29,2	37,4	41,4	39,6	32,6	22,7	13,3	6,7	4,2	5,6	42,0	33,7	23,6	13,2	6,6	3,9	4,9	9,9	19,0	29,8	39,5	44,1
6,5	12,0	20,0	30,0	37,8	41,5	39,8	33,2	23,7	14,5	7,8	5,2	5,4	42,2	34,3	24,6	14,4	7,7	4,9	6,0	11,1	20,1	30,6	39,9	44,3
7,7	13,2	21,1	30,8	38,2	41,6	40,1	33,8	24,7	15,7	9,0	6,4	5,2	42,5	35,0	25,6	15,6	8,8	6,0	7,1	12,2	21,2	31,4	40,2	44,4
8,9	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,9	10,2	7,5	5,0	42,7	35,6	26,6	16,7	10,0	7,1	8,2	13,4	22,2	32,1	40,6	44,5
10,1	15,7	23,3	32,2	33,8	41,8	40,4	34,9	26,6	18,1	11,4	8,7	4,8	42,9	36,2	27,5	17,9	11,1	8,2	9,3	14,6	23,3	32,8	40,9	44,5
12,5	18,0	25,3	33,5	39,3	41,9	40,7	35,9	28,4	20,3	13,9	11,1	4,4	43,2	37,2	29,3	20,1	13,5	10,5	11,6	16,8	25,2	34,1	41,4	44,6
13,8	19,2	26,3	34,1	39,5	41,9	40,8	36,3	29,2	21,4	15,1	12,4	4,2	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	12,8	18,0	26,2	34,7	41,6	44,6
15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,9	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6	4,0	43,4	38,1	30,9	22,3	15,8	12,8	13,9	19,1	27,1	35,3	41,8	44,6
16,2	21,5	28,1	35,2	39,9	41,8	40,8	37,0	30,7	23,6	17,5	14,8	3,8	43,4	38,5	31,7	23,3	16,9	13,9	15,1	20,2	28,0	35,8	41,9	44,5
17,5	22,6	29,0	35,7	40,0	41,7	40,8	37,4	31,5	24,6	18,7	16,1	3,6	43,4	38,9	32,4	24,3	18,1	15,1	16,2	21,2	28,8	36,3	42,0	44,4
18,7	23,7	29,9	36,1	40,0	41,6	40,8	37,6	32,1	25,6	19,9	17,3	3,4	43,4	39,2	33,0	25,3	19,2	16,2	17,4	22,3	29,6	36,7	42,0	44,3
19,9	24,8	30,7	35,5	40,0	41,4	40,7	37,9	32,8	26,6	21,1	18,5	3,2	43,3	39,4	33,7	26,3	20,3	17,4	18,5	23,3	30,4	37,1	42,0	44,1
21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8	3,0	43,1	39,6	34,3	27,2	21,4	18,5	19,6	24,3	31,1	37,5	42,0	43,9
22,3	26,8	32,2	37,1	40,0	40,9	40,4	38,2	33,9	28,5	23,3	21,0	2,8	43,0	39,8	34,8	28,1	22,5	19,7	20,7	25,3	31,8	37,8	41,9	43,6
23,4	27,8	32,8	37,4	39,9	40,6	40,2	38,3	34,5	29,3	24,5	22,2	2,6	42,8	39,9	35,3	29,0	23,5	20,8	21,8	26,3	32,5	38,0	41,8	43,3
24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3	2,4	42,5	40,0	35,8	29,8	24,6	21,9	22,9	27,2	33,1	38,3	41,7	43,0
25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5	2,2	42,2	40,1	36,2	30,6	25,6	23,0	24,0	28,1	33,7	38,4	41,4	42,6
26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6	2,0	41,9	40,0	36,6	31,3	26,6	24,1	25,0	28,9	34,2	38,6	41,2	42,1
27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8	1,8	41,5	40,0	37,0	32,1	27,5	25,1	26,0	29,8	34,7	38,7	40,9	41,7
28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,6	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9	1,6	41,1	39,9	37,2	32,8	28,5	26,2	27,0	30,6	35,2	38,7	40,6	41,2
29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38,0	36,7	33,9	30,6	28,9	1,4	40,6	39,7	37,5	33,4	29,4	27,2	27,9	31,3	35,6	38,7	40,2	40,6
30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0	1,2	40,1	39,6	37,7	34,0	30,2	28,1	28,9	32,1	36,0	38,6	39,8	40,0
31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0	1,0	39,5	39,3	37,8	34,6	31,1	29,1	29,8	32,8	36,3	38,5	39,3	39,4
32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,3	37,2	35,6	33,3	32,0	8	38,9	39,0	37,9	35,1	31,9	30,0	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7
33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9	6	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	30,9	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9	4	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	31,8	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
35,4	37,0	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37,0	35,6	34,8	2	36,9	37,9	38,0	36,4	34,1	32,6	33,1	35,2	37,1	37,7	37,0	36,4
36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6	0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

**Anexo 8. Cuadro de la insolación máxima**

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (\text{Ec. 34})$$

	Hemisferio Norte												Lat. grad.	Hemisferio Sur												
	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
0,0	6,6	11,0	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	7,0	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0	
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0	
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	0,0	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1	
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	0,0	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3	
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	0,0	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2	
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	0,0	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4	
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	0,0	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8	
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,1	7,9	6,7	0,0	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3	
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	0,0	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9	
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	0,0	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5	
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	0,0	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1	
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	0,0	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8	
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	0,0	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5	
9,3	10,4	11,7	13,1	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	0,0	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3	
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	0,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0	
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	0,0	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8	
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	0,0	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6	
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	0,0	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4	
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	0,0	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3	
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	0,0	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1	
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	0,0	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9	
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	0,0	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	0,0	26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6	
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	0,0	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5	
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	0,0	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3	
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	0,0	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2	
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	0,0	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1	
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	0,0	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9	
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	0,0	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	11,9	12,3	12,7	12,8	
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	0,0	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	0,0	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	0,0	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5	
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	0,0	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	0,0	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0,0	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

<sup>1</sup> Los valores de N durante el día 15<sup>avo</sup> del mes, proveen una buena estimación (error <1%) de N promediada sobre todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes muy elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.



## Anexo 9. Plantilla de cálculo hidráulico del sistema de bombeo

### PARAMETROS DE DISEÑO

#### CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO

**PROYECTO** : PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO DE HORTALIZAS EN INVERNADERO - C.C. DE CHALLACOLLO, ACORA, PUNO

**PROPIETARIO** : Bach. EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI

**UBICACIÓN** : COMUNIDAD CAMPESINA DE CHALLACOLLO - DISTRITO DE ACORA - PROVINCIA PUNO

**FECHA** : JUNIO DEL 2024

**Referencia:** Manual para el diseño de sistemas de riego & R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI

**I. CALCULO DE CAUDAL DE BOMBEO**

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Caudal promedio de la fuente de agua	Qp	0.0051	m <sup>3</sup> /s	Sgn. aforo realizado
Volumen del tanque de almacenamiento	Vta	3.00	m <sup>3</sup>	Sgn. demanda hidrica
Tiempo de llenado del tanque	T	0.50	hrs	Criterio tecnico

**IV. POTENCIA DE LA BOMBA**

**1.1 Cálculo del caudal de bombeo**

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Eficiencia de la bomba	n	70.00	%	Sgn. El modelo

**1.1 Cálculo de la potencia de la bomba**

**II. CALCULO DEL DIAMETRO DE IMPULSIÓN Y SUCCIÓN**

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Horas de bombeo de agua	X	0.15	hrs	Sgn. aforo realizado

**2.1 Cálculo del diametro de impulsión**

$P_b = 0.746 \cdot Q_b \cdot HDT$

**Pb = 0.50 HP** Potencia asumida

**Diametro de impulsión**

$D_i = 1.3 \cdot (X^{1/4}) \cdot \sqrt{Q_b}$

**Di = 0.79 Pulg.**

**Di = 1.00 pulg.** Diametro asumido

**2.2 Cálculo del diametro de succión**

El diámetro de la tubería de succión siempre será mayor al diámetro de impulsión, es por ello que se asumió un diámetro superior que en este caso será:

**Ds = 2.00 Pulg.**

**III. CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA**

**3.1 Cálculo de la velocidad de la tubería de impulsión**

**Velocidad del fluido**

$V = (4 \cdot Q_b) / (\pi \cdot D)$

**V = 0.084 m/s.**



## Anexo 10. Plantilla de cálculo de los módulos solares fotovoltaicos

PARAMETROS DE DISEÑO				
CALCULO DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS				
<b>PROYECTO</b>	: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO DE HORTALIZAS EN INVERNADERO - C.C. DE CHALLACOLLO, ACORA, PUNO			
<b>PROPIETARIO</b>	: Bach. EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI			
<b>UBICACIÓN</b>	: COMUNIDAD CAMPESINA DE CHALLACOLLO - DISTRITO DE ACORA - PROVINCIA PUNO			
<b>FECHA</b>	: JUNIO DEL 2024			
<b>Referencia: Luque (2002), "Photovoltaic Science and Engineering &amp; RNE EM.080 instalaciones con energía solar"</b>				
I. CALCULO DE LOS MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS				
Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Radicacion solar u pot. Max. diaria emitida x el so	Rs	2484.32	Wh/m0	Según ecuación
Latitud de la zona en estudio	L	16.07	°	GPS
Orientacion del panel solar	O	Norte	-	
Horas sol pico	HPT	3.71	h/día	Sgn. Cond. Puno
Factor del inversor	Kt	1.00	-	
Orientacion del panel solar	O	Norte	-	
<b>1.1 Calculo del angulo de inclinacion optimo del panel solar</b>				
Angulo de inclinacion optimo del panel solar	$A = L - 23.5 \cdot \text{sen}((T/365.25) \cdot 360^\circ)$			
Dias a partir del equinoccio de la primavera	T =	180.00 Dias	Mes - Junio	
	<b>A = 15.01 °</b>			
<b>1.2 Calculo de la altura del panel solar sobre la superficie</b>				
Altura del panel solar sobre la superficie	$h = \text{sen}(A) \cdot 1570 + 200$			
	<b>h = 506.61 mm</b>			
	<b>h = 0.51 m</b>			
	Altura asumida			
<b>1.3 Calculo de la distancia entre paneles</b>				
Distancia entre paneles	$d = h / (\text{Tan}(61^\circ - A))$			
	<b>d = 0.49 m</b>			
<b>1.4 Calculo de la potencia total del generador</b>				
Potencia total del generador	$P_g = f.s.E(\text{POT.MAX.DIARIA}) / (0.9 \cdot \text{HPT} \cdot \text{KT})$			
	<b>Pg = 892.84 Wp</b>			



Tension nominal  $T_n = 24V$  Wp En base a la "Pg"

Potencia del generador	Tensión nominal
$P \leq 800Wp$	12 V
$800 < P \leq 1600Wp$	24 V
$1600 < P \leq 3200Wp$	48 V
$P > 3200Wp$	96, 120 ó 300 V

### 1.5 Calculo de la potencia de la bomba en watio pico

Potencia de la bomba en watio pico  $P_{bw} = P_b * 768$

$$P_{bw} = 384.00 \text{ Wp}$$

Potencia total de la bomba  $PT = P_{bw} * 1.6$

$$PT = 614.40 \text{ Wp}$$

### 1.6 Calculo de la cantidad de paneles a utilizar

Cantidad de paneles a utilizar  $CP = PT/PP$

Potencia de cada panel a utilizar  $PP = 100.00$  Wp Según la cotización

$$P_{bw} = 6.14 \text{ Paneles}$$

$$h = 6.00 \text{ Paneles} \quad \text{Criterio asumido}$$

**Para el funcionamiento de la bomba se requiere 6 paneles solares de 100Wp de potencia cada una; (3 paneles en serie y 2 en paralelo**



**Anexo 11.** Datos simulados de la red de distribución del sistema de riego en el software  
Watercad

<b>PARAMETROS DE DISEÑO RED DE DISTRIBUCION</b>								
<b>REPORTE - TUBERIA DEL SISTEMA</b>								
Label	LONGITUD (m)	INICIO NODO	FIN NODO	DIAMETRO (mm)	MATERIAL	HAZEN-WILLIAMS C	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA DE CARGA (m/m)
Tub-33	1.20	J-20	J-21	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-32	1.20	J-19	J-20	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-31	1.20	J-18	J-19	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-30	1.20	J-17	J-18	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-29	0.68	J-89	J-17	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-28	1.20	J-15	J-16	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-27	1.20	J-14	J-15	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-26	1.20	J-13	J-14	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-25	1.20	J-12	J-13	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-24	1.20	J-11	J-12	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-23	1.20	J-10	J-11	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-22	1.20	J-9	J-10	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-21	0.68	J-88	J-9	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-20	1.20	J-7	J-8	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-19	1.20	J-6	J-7	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-18	1.20	J-4	J-5	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-17	1.20	J-3	J-4	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-16	1.20	J-2	J-3	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-15	1.20	J-1	J-2	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-14	0.68	J-87	J-1	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-13	0.50	J-82	J-81	15.86	PVC	150.00	0.09	0.00
Tub-12	0.40	J-83	J-82	15.86	PVC	150.00	0.16	0.00
Tub-11	0.40	J-84	J-83	15.86	PVC	150.00	0.24	0.01
Tub-10	0.40	J-85	J-84	15.86	PVC	150.00	0.32	0.01
Tub-9	0.50	J-86	J-85	15.86	PVC	150.00	0.39	0.02
Tub-8	0.50	J-88	J-87	15.86	PVC	150.00	0.08	0.00
Tub-7	0.40	J-89	J-88	15.86	PVC	150.00	0.15	0.00
Tub-6	0.40	J-90	J-89	15.86	PVC	150.00	0.23	0.01
Tub-5	0.40	J-91	J-90	15.86	PVC	150.00	0.31	0.01
Tub-4	0.50	J-92	J-91	15.86	PVC	150.00	0.38	0.02
Tub-3	1.46	J-93	J-92	15.86	PVC	150.00	0.38	0.02
Tub-2	1.46	J-93	J-86	15.86	PVC	150.00	0.39	0.02
Tub-93	1.20	J-5	J-6	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-92	1.20	J-79	J-80	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-91	1.20	J-78	J-79	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-90	1.20	J-77	J-78	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-89	1.20	J-76	J-77	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-88	1.20	J-75	J-76	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-87	1.20	J-74	J-75	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-86	1.20	J-73	J-74	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-85	0.68	J-85	J-73	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-84	1.20	J-71	J-72	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00



Tub-83	1.20	J-70	J-71	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-82	1.20	J-69	J-70	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-81	1.20	J-68	J-69	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-80	1.20	J-67	J-68	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-79	1.20	J-66	J-67	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-78	1.20	J-65	J-66	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-77	0.68	J-84	J-65	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-76	1.20	J-63	J-64	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-75	1.20	J-62	J-63	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-74	1.20	J-61	J-62	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-73	1.20	J-60	J-61	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-72	1.20	J-59	J-60	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-71	1.20	J-58	J-59	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-70	1.20	J-57	J-58	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-69	0.68	J-83	J-57	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-68	1.20	J-55	J-56	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-67	1.20	J-54	J-55	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-66	1.20	J-53	J-54	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-65	1.20	J-52	J-53	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-64	1.20	J-51	J-52	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-63	1.20	J-50	J-51	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-62	1.20	J-49	J-50	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-61	0.68	J-82	J-49	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-60	1.20	J-47	J-48	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-59	1.20	J-46	J-47	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-58	1.20	J-45	J-46	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-57	1.20	J-44	J-45	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-56	1.20	J-43	J-44	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-55	1.20	J-42	J-43	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-54	1.20	J-41	J-42	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-53	0.68	J-81	J-41	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-52	1.20	J-39	J-40	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-51	1.20	J-38	J-39	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-50	1.20	J-37	J-38	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-49	1.20	J-36	J-37	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-48	1.20	J-35	J-36	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-47	1.20	J-34	J-35	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-46	1.20	J-33	J-34	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-45	0.68	J-91	J-33	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-44	1.20	J-31	J-32	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-43	1.20	J-30	J-31	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-42	1.20	J-29	J-30	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-41	1.20	J-28	J-29	9.86	PVC	150.00	0.10	0.00
Tub-40	1.20	J-27	J-28	9.86	PVC	150.00	0.12	0.00
Tub-39	1.20	J-26	J-27	9.86	PVC	150.00	0.15	0.01
Tub-38	1.20	J-25	J-26	9.86	PVC	150.00	0.17	0.01
Tub-37	0.68	J-90	J-25	9.86	PVC	150.00	0.20	0.01
Tub-36	1.20	J-23	J-24	9.86	PVC	150.00	0.02	0.00
Tub-35	1.20	J-22	J-23	9.86	PVC	150.00	0.05	0.00
Tub-34	1.20	J-21	J-22	9.86	PVC	150.00	0.07	0.00
Tub-1	2.05	R_ _ 1	J-93	21.86	PVC	150.00	0.41	0.01



**PARAMETROS DE DISEÑO  
RED DE DISTRIBUCION**

**REPORTE - TUBERIA DE SISTEMA**

ID	LABEL	ELEVACION (msnm)	DEMANDA (L/s)	GRADIENTE HIDRAULICO (m)	PRESION (m H2O)
61.00	J-93	0.00	0.00	39.98	39.96
62.00	J-92	0.00	0.00	39.95	39.93
63.00	J-91	0.50	0.00	39.95	39.42
64.00	J-90	0.90	0.00	39.94	39.02
65.00	J-89	1.30	0.00	39.94	38.62
66.00	J-88	1.70	0.00	39.94	38.22
67.00	J-87	2.20	0.00	39.94	37.72
68.00	J-86	0.00	0.00	39.95	39.93
69.00	J-85	0.50	0.00	39.94	39.42
70.00	J-84	0.90	0.00	39.94	39.02
71.00	J-83	1.30	0.00	39.94	38.62
72.00	J-82	1.70	0.00	39.94	38.22
73.00	J-81	2.20	0.00	39.94	37.72
74.00	J-80	0.50	0.00	39.92	39.40
75.00	J-79	0.50	0.00	39.92	39.40
76.00	J-78	0.50	0.00	39.92	39.40
77.00	J-77	0.50	0.00	39.92	39.40
78.00	J-76	0.50	0.00	39.92	39.40
79.00	J-75	0.50	0.00	39.93	39.40
80.00	J-74	0.50	0.00	39.93	39.41
81.00	J-73	0.50	0.00	39.94	39.42



82.00	J-72	0.90	0.00	39.91	38.99
83.00	J-71	0.90	0.00	39.91	38.99
84.00	J-70	0.90	0.00	39.91	38.99
85.00	J-69	0.90	0.00	39.91	38.99
86.00	J-68	0.90	0.00	39.92	39.00
87.00	J-67	0.90	0.00	39.92	39.00
88.00	J-66	0.90	0.00	39.93	39.01
89.00	J-65	0.90	0.00	39.93	39.01
90.00	J-64	1.30	0.00	39.91	38.59
91.00	J-63	1.30	0.00	39.91	38.59
92.00	J-62	1.30	0.00	39.91	38.59
93.00	J-61	1.30	0.00	39.91	38.59
94.00	J-60	1.30	0.00	39.91	38.59
95.00	J-59	1.30	0.00	39.92	38.60
96.00	J-58	1.30	0.00	39.92	38.60
97.00	J-57	1.30	0.00	39.93	38.61
98.00	J-56	1.70	0.00	39.91	38.19
99.00	J-55	1.70	0.00	39.91	38.19
100.00	J-54	1.70	0.00	39.91	38.19
101.00	J-53	1.70	0.00	39.91	38.19
102.00	J-52	1.70	0.00	39.91	38.19
103.00	J-51	1.70	0.00	39.92	38.20
104.00	J-50	1.70	0.00	39.92	38.20
105.00	J-49	1.70	0.00	39.93	38.21
106.00	J-48	2.20	0.00	39.91	37.69
107.00	J-47	2.20	0.00	39.91	37.69
108.00	J-46	2.20	0.00	39.91	37.69
109.00	J-45	2.20	0.00	39.91	37.69
110.00	J-44	2.20	0.00	39.91	37.69



111.00	J-43	2.20	0.00	39.92	37.70
112.00	J-42	2.20	0.00	39.92	37.70
113.00	J-41	2.20	0.00	39.93	37.71
114.00	J-40	0.50	0.00	39.92	39.40
115.00	J-39	0.50	0.00	39.92	39.40
116.00	J-38	0.50	0.00	39.92	39.40
117.00	J-37	0.50	0.00	39.92	39.40
118.00	J-36	0.50	0.00	39.92	39.40
119.00	J-35	0.50	0.00	39.93	39.41
120.00	J-34	0.50	0.00	39.93	39.41
121.00	J-33	0.50	0.00	39.94	39.42
122.00	J-32	0.90	0.00	39.91	38.99
123.00	J-31	0.90	0.00	39.91	38.99
124.00	J-30	0.90	0.00	39.91	38.99
125.00	J-29	0.90	0.00	39.92	39.00
126.00	J-28	0.90	0.00	39.92	39.00
127.00	J-27	0.90	0.00	39.92	39.00
128.00	J-26	0.90	0.00	39.93	39.01
129.00	J-25	0.90	0.00	39.94	39.02
130.00	J-24	1.30	0.00	39.91	38.59
131.00	J-23	1.30	0.00	39.91	38.59
132.00	J-22	1.30	0.00	39.91	38.59
133.00	J-21	1.30	0.00	39.91	38.59
134.00	J-20	1.30	0.00	39.92	38.60
135.00	J-19	1.30	0.00	39.92	38.60
136.00	J-18	1.30	0.00	39.93	38.61
137.00	J-17	1.30	0.00	39.93	38.61
138.00	J-16	1.70	0.00	39.91	38.19
139.00	J-15	1.70	0.00	39.91	38.19



140.00	J-14	1.70	0.00	39.91	38.19
141.00	J-13	1.70	0.00	39.91	38.19
142.00	J-12	1.70	0.00	39.92	38.20
143.00	J-11	1.70	0.00	39.92	38.20
144.00	J-10	1.70	0.00	39.92	38.20
145.00	J-9	1.70	0.00	39.93	38.21
146.00	J-8	2.20	0.00	39.91	37.69
147.00	J-7	2.20	0.00	39.91	37.69
148.00	J-6	2.20	0.00	39.91	37.69
149.00	J-5	2.20	0.00	39.91	37.69
150.00	J-4	2.20	0.00	39.91	37.70
151.00	J-3	2.20	0.00	39.92	37.70
152.00	J-2	2.20	0.00	39.92	37.70
153.00	J-1	2.20	0.00	39.93	37.71

## Anexo 12. Especificaciones de la madera plástica

### Ficha técnica Madera plástica

Versión 3, Fecha 01-04-2020

**Nombre:** Madera plástica  
**Tipo:** Producto  
**Código PPP:** No definido



**Material:**  
HDPE

#### Propiedades:

Madera plástica HDPE, se elabora con HDPE reciclado de buena calidad en el interior y se le agrega una capa por proceso de coextrusión de material HDPE netamente virgen con variedad de color para simular la forma de una fina tabla.

Propiedad	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,940 – 0,949
Índice de Fluidéz (g/10min)	0,09 – 0,11
Elongación a la Ruptura (%)	400 - 600
Módulo de elasticidad	>500
Resistencia UVA (nm)(°C)	340 / 50-60°C
Temperatura de fusión (°C)	118 - 120

#### Características:

- Resistencia mayor a 8 toneladas en flexibilidad

- Resistencia a la radiación UVA por períodos de tiempo que van desde 3 a más de 10 años
- Solidez a la luz de 7 a 8 (8 resistencia máxima)
- Impermeabilidad
- Temperatura de trabajo máxima (60°C)
- Resistencia química
- Antideslizantes
- Resistencia a alto voltaje > 1000 Volts

#### Observaciones:

Dimensiones	Factor Kg/m
PERFIL_17x35	0,47
PERFIL_21x68	1,4
PERFIL_22x46	0,8
PERFIL_25x47	1,09
PERFIL_25x95	2,185
PERFIL_25x100	2,33
PERFIL_22x130	2,35
PERFIL_50x150	6,6
PERFIL_100x50	4,295

#### Presentaciones:

Generalmente se elaboran en tiras de 3, 6 y 12 metros, pero cliente puede también indicarnos la medida deseada.

#### Elaboración:

Procesadora de Plásticos Puelche Ltda. elabora este producto siguiendo su modelo de economía circular.

#### Información:

Para más información comunicarse a [info@pppltda.cl](mailto:info@pppltda.cl).



PPP Ltda. o Procesadora de Plásticos Puelche Ltda.

[info@pppltda.cl](mailto:info@pppltda.cl)

[www.pppltda.cl](http://www.pppltda.cl)

Casa Matriz

Ruta 5, Longitudinal sur Km 1030, Puerto Montt, Región de Los Lagos, Chile

+56-65-2434849

Sucursal Río Bueno

Ruta T-71 lote D s/n, Río Bueno, Región de Los Ríos, Chile

+56-64-2340684

## Anexo 13. Panel solar escogido de 100Wp



# Panel Solar 100W 12V





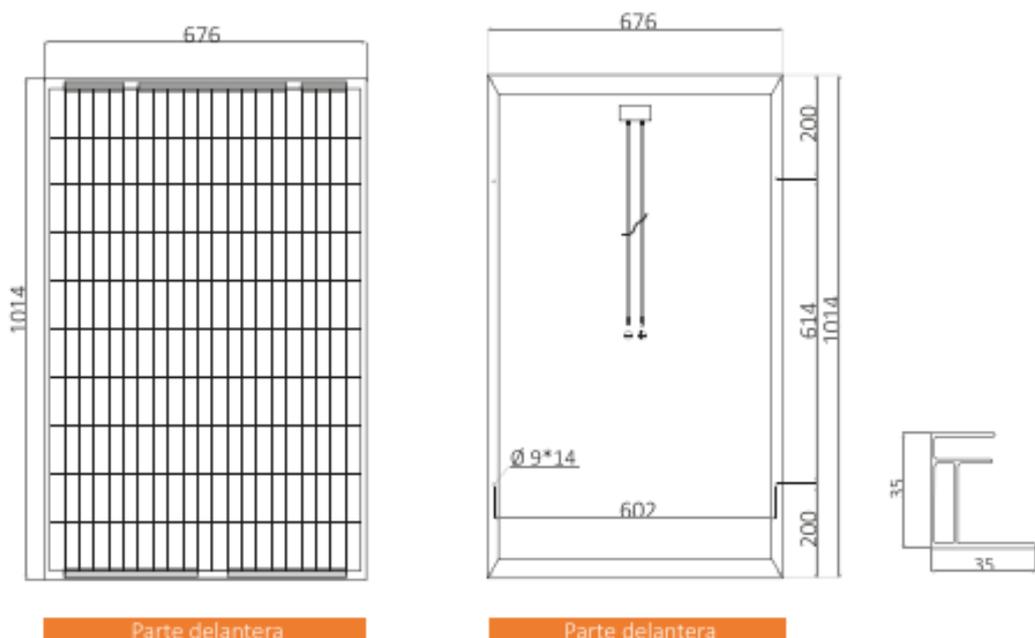







### Especificaciones

Tamaño del módulo	1014 x 676 x 35 mm
Tipo de célula	Policristalina 104 x 156 mm
Número de células	36 (4x9)
Potencia máxima (Wp)	100W
Tolerancia de potencia (%)	±3%
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.7V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	5.79A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	18.3V
Intensidad a máxima potencia (Im)	5.46A
Fusible máximo Serie	10A
Número de diodos	2
Longitud y tipo cable	60cm, 2.5mm <sup>2</sup>
Condiciones del test	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coeficiente temperatura – Isc	+0.08558%/°C
Coeficiente temperatura – Uoc	-0.29506%/°C
Coeficiente temperatura – Pmpp	-0.38001%/°C
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	14.6%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE, ROHS
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	7.5Kg

## Anexo 14. Batería escogida de 24V

### UZZ600-6

6V 600AH

# Ultracell®

Quality in Every Language

**UZZ600-6**



**Physical Specification**

Part Number	UZZ600-6
Length	295 ± 2 mm
Width	178 ± 2 mm
Container Height	405 ± 2 mm
Total Height (with terminal)	408 ± 2 mm
Without Electrolyte	34.5 kg
With Electrolyte	52.0 kg

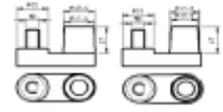
**Specifications**

	Nominal Voltage	6V	
	Nominal Capacity (120HR)	600AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F22	
Container Material	Standard Option	ABS	
Rated Capacity	120hr, 1.80V/cell, 25°C	600.0 AH/ 5.00A	
	100hr, 1.80V/cell, 25°C	550.0 AH/ 5.50A	
	10hr, 1.80V/cell, 25°C	360.0 AH/ 36.0A	
	5hr, 1.75V/cell, 25°C	324.0 AH/ 64.8A	
	1hr, 1.60V/cell, 25°C	202.0 AH/ 202A	
Max Discharge Current	1300 A (5s)		
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15°C-50°C(5°F-122°F) Charge: -10°C-50°C(14°F-122°F) Storage: -20°C-50°C(-4°F-122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25±3°C	
	Floot Charging Voltage (25°C)	6.60 ~ 6.72V at 25°C Temp. Coefficient -18mV/°C	
	Cycle Charging Voltage (25°C)	7.05 ~ 7.20V at 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C	
	Capacity affect by Temperature (10HR)	40°C	102%
		25°C	100%
		0°C	85%
-15°C		65%	
Design Floating Life at 20°C	20 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

**Dimensions**

■ F22 Terminal





Positive Terminal      Negative Terminal

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



# UZS600-6

6V 600AH

# Ultracell®

Quality in Every Language

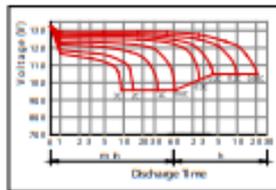
### Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C

F.V/TIME	30min	60min	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h	24h	48h	100h	120h
1.60V	328	202	128	94.7	79.1	66.6	56.6	43.3	36.6	19.8	17.2	9.12	5.64	5.11
1.65V	321	199	127	94.1	78.7	66.2	56.2	43.0	36.6	19.8	17.2	9.10	5.61	5.10
1.70V	311	194	126	92.8	77.6	65.3	55.5	42.4	36.5	19.7	17.1	9.06	5.60	5.07
1.75V	304	190	124	92.2	77.0	64.8	55.1	42.1	36.3	19.6	17.0	9.03	5.56	5.04
1.80V	293	184	121	89.4	74.7	62.9	53.4	40.9	36.0	19.4	16.9	8.86	5.50	5.00

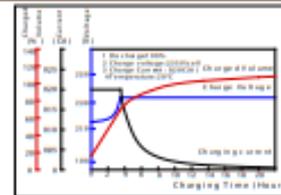
### Constant Power Discharge (Watts) at 25°C

F.V/TIME	30min	60min	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h	24h	48h	100h	120h
1.60V	647	404	247	186	155	131	111	85.7	72.9	39.6	247	18.4	11.6	10.5
1.65V	634	398	245	184	154	130	111	85.2	72.8	39.5	245	18.4	11.5	10.5
1.70V	614	388	243	182	152	129	109	84.0	72.6	39.4	243	18.3	11.5	10.4
1.75V	599	380	240	181	151	128	109	83.4	72.1	39.2	240	18.2	11.4	10.3
1.80V	577	369	233	175	146	124	105	80.9	71.6	38.9	233	17.8	11.1	10.0

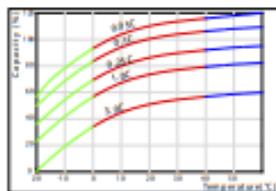
### Discharge Characteristics



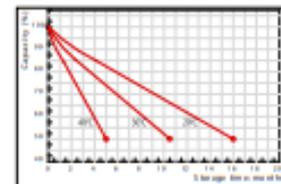
### Float Charging Characteristics



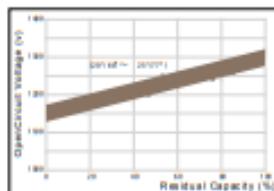
### Effect of Temperature on Capacity



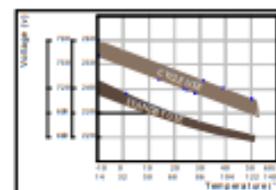
### Self Discharge Characteristics



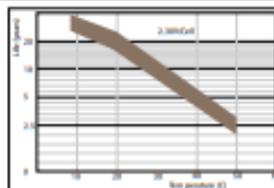
### Relationship for Open Circuit Voltage & Residual Capacity



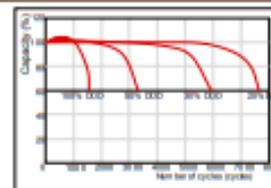
### Relationship for Charging Voltage & Temperature



### Floating Life on Temperature



### Cycle Life on D.O.D



ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ROY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI  
identificado con DNI 70000858 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA  
PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO TECNIFICADO EN CONDICIONES DE  
INVERNADERO EN CHALLACOLLO - PUNO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

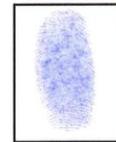
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EDY WALDIR CCALLOMAMANI CCALLOMAMANI, identificado con DNI 70000858 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA APLICACIÓN DE RIEGO TECNIFICADO EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN CHALLACOLLO - ACORA"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

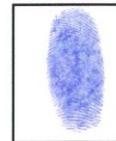
Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella