



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



**ENERGÍA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE  
RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CENTRO EXPERIMENTAL  
CHUQUIBAMBILLA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

### ***A Dios***

*por darme la vida y salud, por ser mi guardián y brindarme fortaleza cuando lo necesitaba, además de su infinito amor.*

### ***A mis padres***

*A mis queridos padres José Arizaca Lima y Tomasa Huillca Condori por brindarme su apoyo durante esta andadura, que han estado en los momentos que más los necesite, Por haberme apoyado y aconsejado en todo momento, por la motivación constante, que me ha permitido ser una persona de bien y su importante apoyo y comprensión.*

### ***A mis familiares.***

*A mis queridos tíos, mis hermanos Gonzalo, Mirian y Willian y todos los familiares por su apoyo y aliento que me brindaron durante mi formación integral.*

***Abel Arizaca Huillca.***



## AGRADECIMIENTOS

De mi especial gratitud:

Agradezco en primer lugar a Dios por ser mi guardián y fortaleza en los momentos más difíciles y no dejar que me rinda nunca.

A nuestra alma mater, Universidad Nacional del Altiplano – Puno a la escuela profesional de Ingeniería Agrícola Facultad de Ingeniería Agrícola, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Centro Experimental Chuquibambilla por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de investigación en tan prestigiosa Institución, y del mismo modo a todo el personal que labora.

Agradezco de manera especial y sincera al Dr. Julio Málaga Apaza y al M.Sc. Roberto Alfaro Alejo, por aceptar la dirección de esta tesis. Por su paciencia, disponibilidad y generosidad. Sus oportunas observaciones y acertadas críticas hicieron posible la culminación de este trabajo.

Al jurado evaluador, por sus sugerencias y revisión del informe final de la presente tesis.

*Abel Arizaca Huillca.*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 18**

1.1.1 Problema general..... 19

1.1.2 Problemas específicos ..... 20

**1.2 HIPÓTESIS ..... 20**

1.2.1 Hipótesis general ..... 20

1.2.2 Hipótesis específicas ..... 20

**1.3 JUSTIFICACIÓN ..... 21**

**1.4 OBJETIVOS..... 21**

1.4.1 Objetivo general ..... 21

1.4.2 Objetivos específicos ..... 22

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN ..... 23**

2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 23



2.1.1.1 Antecedentes nacionales .....	26
2.1.2 Antecedentes Regionales .....	29
<b>2.2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>31</b>
2.2.1 Energía solar.....	31
2.2.2 Energía fotovoltaica .....	32
2.2.2.1 Panel fotovoltaico .....	32
2.2.2.2 Orientación de los paneles .....	33
2.2.2.3 Arreglo fotovoltaico.....	34
2.2.3 Sistema de riego .....	34
2.2.3.1 Sistema de riego por aspersión.....	35
2.2.3.2 Componentes del sistema de riego por aspersión.....	36
2.2.4 Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego por Aspersión .....	38
2.2.4.1 Topografía de terreno del lugar.....	38
2.2.4.2 Contenido de agua en el suelo.....	38
2.2.4.3 Tipo de suelo.....	38
2.2.4.4 Densidad aparente de suelo.....	39
2.2.4.5 Capacidad de campo .....	39
2.2.4.6 Punto de marchitez permanente del suelo.....	40
2.2.4.7 Cálculo agronómico .....	41
2.2.4.8 Calculo hidráulico .....	47
2.2.5 Cultivo de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	49
2.2.5.1 Origen y características botánicas de la planta.....	49
2.2.5.2 Exigencias climáticas.....	50
2.2.5.3 Exigencias edáficas .....	51
<b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....</b>	<b>52</b>



2.3.1	Riego .....	52
2.3.2	Sistema de riego .....	52
2.3.3	Riego por aspersión.....	53
2.3.4	Necesidad hídrica del cultivo .....	53
2.3.5	Cálculo agronómico .....	53
2.3.6	Cálculo hidráulico .....	53
2.3.7	Energía fotovoltaica .....	54
2.3.8	Equipo de bombeo.....	54
2.3.9	Reservorio .....	54
2.3.10	Línea de riego.....	54
2.3.11	Presupuesto .....	54

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>56</b>
3.1.1	Limites.....	57
3.1.2	Vías de comunicación y accesibilidad .....	57
<b>3.2</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>58</b>
<b>3.4</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>58</b>
3.4.1	Población.....	58
3.4.2	Muestra.....	59
<b>3.5</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>59</b>
3.5.1	Estimación de la oferta de agua del manantial “Pujio” para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla .....	59



3.5.2	Calculo agronómico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.....	60
3.5.2.1	Evapotranspiración del cultivo.....	60
3.5.2.2	Lamina neta de riego (Ln).....	62
	Tabla 5. Datos para la determinación de la lámina neta de riego .....	62
3.5.2.3	Lamina bruta de riego (Lb) .....	62
3.5.2.4	Intervalo o frecuencia de riego.....	63
3.5.2.5	Tiempo de riego (T).....	63
3.5.2.6	Demanda de agua requerida para el cultivo (Alfalfa) .....	64
3.5.2.7	Caudal necesario para el sistema de riego.....	64
3.5.2.8	Programación de turnos de riego.....	64
3.5.3	Cálculo hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.....	65
3.5.3.1	Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión.....	65
3.5.3.2	Cálculo del diámetro de la tubería de succión.....	66
3.5.3.3	Cálculo de la potencia de la bomba.....	66
3.5.3.4	Cálculo de cantidad de paneles para el funcionamiento de la bomba .....	68
3.5.3.5	Cálculo de los componentes de la red de distribución .....	68
3.5.4	Estimación del presupuesto requerido para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.....	69



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA DE AGUA DEL MANANTIAL “PUJIO” PARA ABASTECER AL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2 CÁLCULO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA, ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA.....</b>	<b>74</b>
4.2.1 Cálculo agronómico .....	74
4.2.1.1 Evapotranspiración del cultivo.....	74
4.2.1.2 Lámina neta de riego (Ln).....	78
4.2.1.3 Lamina bruta de riego (Lb) .....	78
4.2.1.4 Intervalo o frecuencia de riego.....	79
4.2.1.5 Tiempo de riego (Tr).....	79
4.2.1.6 Demanda de agua requerida para el cultivo (Alfalfa) .....	80
4.2.1.7 Caudal necesario para el sistema de riego.....	81
4.2.1.8 Programación de turnos de riego.....	82
4.2.2 Cálculo hidráulico .....	82
4.2.2.1 Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión.....	82
4.2.2.2 Cálculo del diámetro de la tubería de succión.....	83
4.2.2.3 Cálculo de la potencia de la bomba.....	83
4.2.2.4 Cálculo del módulo solar fotovoltaico .....	88
4.2.2.5 Cálculo de los componentes de la red de distribución .....	108





<b>4.3 ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO REQUERIDO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA.....</b>	<b>117</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>123</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>125</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>
<b>Anexo 1.</b> Cálculo de la evapotranspiración de referencia Eto.....	131
<b>Anexo 2.</b> Cálculo agronómico para el sistema de riego por aspersión (1.80Ha de cultivo de alfalfa) .....	132
<b>Anexo 3.</b> Cuadro de radiación solar extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes .....	133
<b>Anexo 4.</b> Cuadro de la insolación máxima diaria (n) para diferentes latitudes .....	133
<b>Anexo 5.</b> Cálculo hidráulico del sistema de riego por aspersión.....	134
<b>Anexo 6.</b> Cálculo hidráulico del sistema de riego por aspersión.....	136
<b>Anexo 7.</b> Metrado del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica.....	138
<b>Anexo 8.</b> Presupuesto calculado del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica.....	140
<b>Anexo 9.</b> Plano de distribución de aspersores .....	142
<b>Anexo 10.</b> Plano de cantidad de aspersores .....	143
<b>Anexo 11.</b> Plano esquemático del sistema de riego calculado .....	144



<b>Anexo 12.</b>	Especificaciones técnicas de la bomba de agua solar .....	145
<b>Anexo 13.</b>	Especificaciones técnicas del panel solar a utilizar (50Wp).....	146
<b>Anexo 14.</b>	Especificaciones técnicas de la batería de almacenamiento de energía para la bomba. ....	148
<b>Anexo 15.</b>	Especificaciones técnicas del aspersor Xcel-Wobbler.....	149
<b>Anexo 16.</b>	Potencia fotovoltaica en el sitio web Atlas Solar Global.....	150
<b>Anexo 17.</b>	Potencia fotovoltaica en la plantilla Asociación Transfermarkt (Argentina).....	153
<b>Anexo 18.</b>	Fotografía de ubicación del Centro Experimental Chuquibambilla .....	155
<b>Anexo 19.</b>	Fotografía de ubicación del manantial denominado “Pujio” (coordenadas UTM: 314101.00 m E y 8369800.00 m S); en el Centro Experimental Chuquibambilla.....	155
<b>Anexo 20.</b>	Fotografía del punto de aforo del manantial denominado “Pujio” (coordenadas UTM: 314101.00 m E y 8369800.00 m S); en el Centro Experimental Chuquibambilla.....	156

**ÁREA:** Ingeniería y tecnología

**LÍNEA:** Recursos hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de octubre de 2022**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Densidad aparente de tipos de suelo .....	39
<b>Tabla 2.</b>	Valores normales de capacidad de campo .....	40
<b>Tabla 3.</b>	Valores normales de coeficiente de marchitez.....	40
<b>Tabla 4.</b>	Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego .....	45
<b>Tabla 5.</b>	Datos para la determinación de la lámina neta de riego .....	62
<b>Tabla 6.</b>	Cálculo del caudal de agua en temporada de estiaje.....	70
<b>Tabla 7.</b>	Cálculo del caudal de agua en temporada de avenida.....	72
<b>Tabla 8.</b>	Cálculo de la evapotranspiración de referencia del cultivo de alfalfa .....	76
<b>Tabla 9.</b>	Coefficiente de fricción de accesorios de tub. succión .....	85
<b>Tabla 10.</b>	Cálculo de la pérdida de carga por accesorios.....	86
<b>Tabla 11.</b>	Coefficiente de fricción de accesorios de tub. Impulsión .....	87
<b>Tabla 12.</b>	Cálculo de la pérdida de carga por accesorios .....	87
<b>Tabla 13.</b>	Comparación del cálculo de la radiación solar en un día sin y con nubosidad .....	96
<b>Tabla 14.</b>	Datos referenciales para la tensión del en función de la potencia del generador .....	100
<b>Tabla 15.</b>	Cuadro comparativo de los datos hallados con respecto al sitio web Atlas Solar Global y la Asociación Transfermarket.....	108
<b>Tabla 16.</b>	Cálculo hidráulico de la red de distribución .....	112
<b>Tabla 17.</b>	Metrados para el sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica .....	118
<b>Tabla 18.</b>	Presupuesto calculado para el sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica.....	120



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Forma de llegada de la energía solar a la tierra. ....	32
<b>Figura 2.</b>	Angulo de inclinación $\beta$ para la implementación de paneles. ....	33
<b>Figura 3.</b>	Conexiones en serie de un sistema fotovoltaico. ....	34
<b>Figura 4.</b>	Sistema de riego .....	37
<b>Figura 5.</b>	Aspersor Xcel Wobbler. ....	37
<b>Figura 6.</b>	Tipos de suelo .....	39
<b>Figura 7.</b>	Sistema de Impulsión de un sistema de agua para riego .....	48
<b>Figura 8.</b>	Diagrama de un sistema fotovoltaico para el bombeo.....	49
<b>Figura 9.</b>	Ubicación de la zona en estudio. ....	56
<b>Figura 10.</b>	Variabilidad del caudal-temporada de estiaje.....	71
<b>Figura 11.</b>	Variabilidad del caudal-temporada de avenida .....	73
<b>Figura 12.</b>	Radio de aspersión por cada aspersor en el área en estudio .....	109
<b>Figura 13.</b>	Estimación de la cantidad de aspersores.....	109
<b>Figura 14.</b>	Código único de cada tramo del área en estudio .....	110



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>SENAMHI:</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>ET<sub>o</sub>:</b>	Evapotranspiración de referencia de cultivo
<b>K<sub>c</sub>:</b>	Coeficiente 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>Q:</b>	Caudal
<b>Ø:</b>	Diámetro
<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

El presente estudio se realizó a razón de que en el área de estudio se evidencia la desnutrición del ganado ovino; debido al mal uso del recurso hídrico el cual es derivado por canales artesanales siendo ineficiente e insuficiente para los cultivos; en ese contexto se planteó el objetivo general: calcular la energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla, siendo el método mediante la estimación de la oferta del manantial denominado “Pujio” en temporada de avenida y estiaje; para posteriormente realizar el cálculo agronómico e hidráulico, y finalmente la estimación del presupuesto que conllevara su implementación. Los resultados muestran que la oferta de agua en temporada de estiaje es de 1.88 l/s, y en temporada de avenida es de 2.34 l/s, con respecto al cálculo agronómico se obtuvo una evapotranspiración de cultivo de 2.56 mm/día; con lámina neta y bruta de riego de 1.42 mm/día, con intervalos de riego de 0.56 días, a un tiempo de riego de 14 min/día; requiriendo una demanda de agua de 25.60 m<sup>3</sup>/día para 1.80 ha de cultivo de alfalfa; abastecida con un caudal de 0.05 m<sup>3</sup>/s, para 8 turnos de riego; así también en el cálculo hidráulico se obtuvo un caudal de bombeo de 0.00167 m<sup>3</sup>/s; con  $\phi$  de tubería de impulsión de 1.5”, para una altura hidrodinámica total de 34.15 m y  $\phi$  de tubería de succión de 2”; con potencia de la bomba de 1 Hp (768 Wp), requiriendo 25 paneles solares de 50 Wp (c/u) para su funcionamiento; así mismo se requerirá 105 aspersores, garantizando una presión no menor a 30 m.c.a., en cada línea de riego, todo ello presupuestado en S/ 96,718.15. Concluyendo que la aplicación del sistema de riego, permitirá el ahorro del costo energético debido a que se empleará energía fotovoltaica, la misma que favorecerá la producción de alfalfa en épocas de sequía.

**Palabras clave:** Energía fotovoltaica, producción alfalfa, riego por aspersión, bombeo solar.



## ABSTRACT

This study was conducted because in the study area there is evidence of malnutrition of sheep, due to the misuse of water resources which is derived by artisanal canals being inefficient and insufficient for crops; in this context the general objective was set: To calculate the photovoltaic energy applied in a sprinkler irrigation system in the Chuquibambilla Experimental Center, being the method by estimating the supply of the spring called "Pujio" in flood and low water season; to subsequently perform the agronomic and hydraulic calculation, and finally the budget estimate that its implementation will entail. The results show that the water supply in low water season is 1.88 l/s, and in flood season is 2.34 l/s, with respect to the agronomic calculation a crop evapotranspiration of 2.56 mm/day; with net and gross irrigation lamina of 1.42 mm/day, with irrigation intervals of 0.56 days, at an irrigation time of 14 min/day; requiring a water demand of 25.60 m<sup>3</sup>/day for 1.80 ha of alfalfa crop; supplied with a flow of 0.05 m<sup>3</sup>/s, for 8 irrigation shifts; also in the hydraulic calculation a pumping flow of 0.00167 m<sup>3</sup>/s was obtained; with a discharge pipe  $\phi$  of 1.5", for a total hydrodynamic height of 34.15 m and a suction pipe  $\phi$  of 2"; with a pump power of 1 Hp (768 Wp), requiring 25 solar panels of 50 Wp (each) for its operation; likewise, 105 sprinklers will be required, guaranteeing a pressure of no less than 30 m.w.c. in each irrigation line, in each irrigation line, all budgeted at S/ 96,718.15. Concluding that the application of the irrigation system will allow energy cost savings due to the use of photovoltaic energy, which will favor the production of alfalfa in times of drought.

**Keywords:** Photovoltaic energy, alfalfa production, sprinkler irrigation, solar pumping.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el agua es crucial e importante en la agricultura, especificando que las áreas de la sierra del Perú, presentan una elevada capacidad productiva de sus tierras sembrando diferentes especies vegetales, no obstante, solo se logra una siembra en temporada de lluvias, debido a que en temporadas secas no se consigue el caudal adecuado para el riego. Asimismo, en las temporadas secas, se presenta una elevada radiación solar, pudiendo ser utilizada para el empleo de sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua, logrando llevar a cabo una segunda siembra (Asmat, 2018).

Por otro lado, las parcelas de cultivo en las zonas altoandinas se encuentran distantes de los hogares, que, a pesar de contar con energía en la vivienda, no la consiguen emplear en sus actividades productivas, debido a que el sistema eléctrico se encuentra distante de las zonas de producción (Davalos, 2019); la energía fotovoltaica sería una opción viable porque es rotativo, ilimitada y pura, también de que los costes de los equipos fotovoltaicos están acortándose actualmente, lo que hace posible su adquisición y uso en los sistemas de riego (Maquera, 2014). La energía fotovoltaica, que convierte la radiación solar directamente en fluido eléctrico, ha demostrado ser extremadamente eficaz para la producción de energía en zonas rurales y distantes (Jara y Ramos, 2018).

En el Centro Experimental Chuquibambilla actualmente no presenta una técnica de riego en la producción forrajera de alfalfa para la suplementación de los animales gestantes y animales en crecimiento, es por ello que se propicia el desarrollo de un sistema de riego por aspersión por medio de la utilización de un módulo fotovoltaico, la cual proveerá al sistema de bombeo la energía necesaria para inducir el agua hacia un lugar de almacenamiento, para posteriormente ser distribuida mediante las tuberías hacia los





aspersores para el regadío del cultivo de alfalfa y finalmente estimar el presupuesto requerido para su implementación.

Es fundamental determinar la demanda hídrica necesaria y la irradiación solar aprovechable para construir un sistema para el bombeo fotovoltaico. Asimismo, estimar la exigencia hídrica, se deben recopilar datos sobre este elemento y revisar bibliografía, así como la dilatación agrícola, la clase de siembra y la clase de riego perteneciente al mes de mayor consumo hídrico. Para estimar el grado de irradiación presentes en el área, se deben recopilar datos sobre este elemento y revisar bibliografía (Heredia y Sámchez, 2018).

El presente estudio se desarrolla IV capítulos los cuales se detallan a continuación:

El capítulo I, introducción, establece el problema de estudio, enunciando del problema, hipótesis, justificación y definiendo los objetivos logrados que contempla la calidad del estudio.

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, referencias del estudio, bases teóricas en los cuales se basó el presente proyecto

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica el tipo del diseño de estudio, técnicas e instrumentos, población y muestra, métodos y procesamiento de información.

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados, y su discusión respectivamente. Finalmente, las conclusiones con recomendaciones.



## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el Centro Experimental Chuquibambilla posee aproximadamente 4000 ovinos, 2000 alpacas y 1000 vacunos; esta población de animales no satisface los requerimientos nutricionales por día, para cumplir los estados fisiológicos como es el crecimiento, mantenimiento, reproducción y producción más en esta época de estiaje; ya que los pastizales naturales se encuentran lignificados por la madurez, baja concentración de aminoácidos y/o proteínas, vitaminas y minerales. Por esta situación la crianza de estos animales no muestra una rentabilidad óptima, debido a que existe mortalidad de animales, bajo incremento de peso, desarrollo fetal en borregas gestantes no es lo adecuado.

En tal virtud, es muy necesario el empleo de bombeo del agua de fuentes subterráneas para propósitos de riego agrícola; utilizando motores de combustión instalados en las fuentes subterráneas; empleando como origen principal la energía de combustión (petróleo y gasolina), ocasionando costes elevados en el mantenimiento y operación del sistema de bombeo; adicional a ello estos sistemas de bombeo emiten gases nocivos por la ignición de los combustibles generando la contaminación atmosférica (Davalos, 2019).

El uso del agua es considerado indispensable para la agricultura, enfrentándose a un contexto muy crítico a nivel de pequeños agricultores; debido a que el 80% del recurso disponible es utilizada en los cultivos agrícolas y en mayor cantidad en los sistemas para riego por gravedad alcanzando eficiencias de riego no mayores al 35% y el 65%; perdiéndose en la conducción, distribución y la aplicación, provocando la salinidad y saturación de los suelos lo cual conlleva a que no se aproveche adecuadamente (Asmat, 2018).

Para esta situación teniendo en cuenta que en esos meses se la radiación solar es elevada, se tiene la propuesta de implementar los sistemas fotovoltaicos para la



generación de energía, con ello será posible el bombeo del agua de subsuelo; para el riego por aspersión de pastos cultivados; lo que permitirá el incremento de producción de forraje; con esa disponibilidad de biomasa se suplementará la alimentación de los animales que están cumpliendo el estado fisiológico de gestación; lo que favorecerá la reducción de tasas de mortalidad del ganado bovino, también se obtendrá mejor peso al nacimiento para que el crecimiento sea en menor tiempo y así incrementar los ingresos del Centro Experimental Chuquibambilla.

Cabe recalcar que las áreas de cultivo de forraje en este caso de alfalfa del Centro Experimental Chuquibambilla de la Universidad Nacional del Altiplano, presenta el mal uso del recurso hídrico, derivándose de manera directa mediante canales artesanales desde un manante de agua hasta el área de cultivo de pastos; ello repercute en la baja producción del cultivo de alfalfa y por consiguiente la insuficiente alimentación para el ganado. Por ello con el presente estudio se busca calcular un sistema de riego por aspersión para “cultivos de alfalfa”; en el Centro Experimental Chuquibambilla; con la utilización de energía fotovoltaica (solar); para que posteriormente los encargados la puedan implementar y de esa forma disponer el agua según los requerimientos hídricos del cultivo; mediante la utilización de tecnologías sostenibles siendo el caso, la energía fotovoltaica; y mejorar la alimentación del ganado bovino y por ende mejorar el peso de nacimiento de las crías del ganado.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cuánto es la energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla?



### 1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuánto es la oferta de agua del manantial pujio para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla?
- ¿Cuánto es el cálculo agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla?
- ¿Cuánto es el presupuesto requerido para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla?

## 1.2 HIPÓTESIS

### 1.2.1 Hipótesis general

El cálculo de la energía fotovoltaica logrará satisfacer la demanda del recurso hídrico requerido para el sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla.

### 1.2.2 Hipótesis específicas

- La estimación de la oferta de agua del manantial Pujio es variada durante las diferentes temporadas del año para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla.



- El cálculo agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa estará en función a la energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.
- La estimación del presupuesto requerido servirá para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio se justifica a razón de que el actual sistema de riego del Centro Experimental Chuquibambilla; se realiza mediante canales artesanales; evidenciándose la ineficiencia e insuficiencia de este sistema para el riego de los cultivos de alfalfa, siendo esta la razón de realizar el presente estudio donde se busca calcular la energía fotovoltaica aplicada a un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla; para cubrir la necesidad de agua requerida en el cultivo de alfalfa, con respecto al uso de las energías sostenibles siendo el caso de la energía fotovoltaica (solar), lo cual beneficiara al Centro Experimental Chuquibambilla y a los agricultores y regantes debido a que esta tecnología es de un costo económicamente bajo para su implementación y amigable con el medio ambiente, por el empleo de energía solar en el bombeo de agua hacia las partes altas y ser distribuidas por gravedad para su uso con fines agrícolas, y la mejora del rendimiento agrícola en temporadas de estiaje.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- Calcular la energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla.



### 1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar la oferta de agua del manantial Pujio para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla.
- Realizar el cálculo agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.
- Estimar el presupuesto requerido para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Martínez (2021), en su investigación titulada: “Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeño nivel empleando energía fotovoltaica”; tuvo el objetivo de examinar uno de estos elementos; su influencia del cuerpo del sistema de riego en la aptitud de costes de dicha técnica. Se diseñaron y analizaron económicamente 5 sistemas modulares de 1, 2, 3, 4 y 5 ha, cada uno con sus propios acomodos fotovoltaicos. Los resultados mencionaron que, hay un aumento de la transformación primaria además los costes de utilización, los costes del kW fotovoltaica situado durante el impulso del fluido, presentan reducciones a modo que en la zona aumenta, con montos que fluctuaron en 25.8 MCUP/kWp en 1 ha, hasta 24.3 MCUP/kWp en 5 ha. En determinación siendo la variación más mínima (1 ha), al exhibir ganancias posteriores al gravamen negativo, perdiendo 21.9 MCUP/año, así como la correlación B/C menor a 1.

Según Sarr, Diop, y Diatta (2021), realizaron la investigación titulada “Viabilidad técnica y económica del riego con bombas solares en la región de North-Niayes en Senegal”; siendo la meta de evaluar la viabilidad técnico-económica de las bombas de riego solares. En cuanto a la viabilidad técnica, el dimensionamiento de las bombas se realizó en base al manejo del riego, técnicas de riego y distribución de agua. Asimismo, se estudió la viabilidad económica sobre la base del VAN, relación Beneficio-Costo. Los resultados mostraron que el área cultivada varía de 0.05 ha a



1.91 ha, el caudal de las bombas no varía mucho de una técnica de riego a otra. Varía entre 2.5 m<sup>3</sup>/h y 31 m<sup>3</sup>/h. Sin embargo, la presión y la potencia son más altas cuando se utilizan técnicas de riego por goteo y aspersión, oscilando entre 27.8 m a 39.9 m para goteo y 40.1 m a 58.5 m para riego por aspersión. La potencia varía entre 0,06 kW y 1.7 kW para manual, entre 0.06 kW y 2.6 kW para goteo y entre 0.1 kW y 4.75 kW para riego por aspersión. El coste de inversión es variable (679 euros a 21.500 euros), en función de la superficie cultivada, las marcas y características de las bombas y las técnicas de riego. Los resultados exhiben que el coste de inversión oscila entre 669 euros a 4090 euros cuando se emplea el método de riego manual, a partir de 1281 euros a 20.600 euros cuando se utiliza la técnica de riego por goteo y de 819 euros a 21.403 euros al utilizar la técnica de riego por aspersión para bombas individuales. El costo de inversión es mayor cuando se utilizan reservorios. En este caso, el costo de inversión varió entre 722 € y 6062 € para riego manual, 1532 € y 25.882 € para riego por goteo y 900 y 28.000 € para riego por aspersión. Sin embargo, el costo total de inversión en toda la escala de tierras bajas es mayor cuando los agricultores usan las bombas individualmente y menor cuando los agricultores usan las bombas en grupos cuando usan técnicas de riego manual y por goteo. El VAN varía entre 15.993 € (0.75 ha) y 103.139 € (1.41 ha) y entre 13.064 € y 86.139 € cuando se utilizan técnicas de riego por aspersión con tuberías de PVC y cuando se emplea el método de riego por goteo, respectivamente. Se estima que la BCR tiene un promedio de 2.2 y 2 respectivamente cuando se utilizan técnicas de riego manual, por goteo y por aspersión.

Según Bonet, Rodríguez, y Guerrero (2020), en su investigación titulada “Aprovechamiento de la energía utilizada en el riego por aspersión, planteo el fin de apreciar en la práctica la seguridad alcanzada en el empleo de la energía esgrimida





por ello efectuó un estudio en la UBPC de la empresa Camagüey. Monitoreando la usanza de energía eléctrica para el riego en los sistemas de la unidad productiva durante la temporada de cultivo de frijol 2017; se estimó la producción de la energía que se empleó en el riego en todos los sistemas de riego, conteniendo las tecnologías de máquinas de pivote y los sistemas de riego de aspersión; y se compararon los rangos que se obtuvieron estableciendo como referente el resultado más conveniente. Las valoraciones revelaron que, en el período de cultivo, el uso del agua se pierde debido al incumplimiento de la programación del riego y a la insuficiente uniformidad de la distribución del agua, lo que, combinado con cuestiones agrotécnicas, se traduce en una menor productividad y la energía utilizada, con una tasa de eficiencia del 76% en el caso de los aparatos de pivót y del 63% en los sistemas de riego por aspersión.

Según Peralta y Castillo (2016), en su investigación nombrada “Diseño de sistema de riego por aspersión mecanizado con empleo de energía renovable para el centro olímpico Juan Pablo Duarte (Santo Domingo, República Dominicana)” menciona que siendo el propósito general de diseñar un sistema de riego por aspersión empleando energía renovable para el centro olímpico; para ello efectuó el diseño agronómico e hidráulico; recabando datos climáticos, datos de cultivo (área de cultivo, evapotranspiración de cultivo, demanda de agua) y datos del suelo; para el diseño hidráulico se empleó el software TLALOC que sirve para del cálculo del diseño de sistema de riego; encontrando como resultado que, mediante la reflexión y criterios de elección, constando de 27 áreas para riego distribuidas en 3 zonas. A través del diseño agronómico estimo la escasez hídrica de la planta (2.9 mm/día), que, con referencia a la difusión efectuada, permanecerá irrigado 3.19 mm/día.



### 2.1.1.1 Antecedentes nacionales

Davalos (2019), en su investigación nombrada “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico en el riego agrícola en el caserío la Guayaba, el cual tuvo el objetivo de diseñar un sistema de bombeo alimentado con energía solar para riego agrícola en el caserío la Guayaba, el sistema de bombeo actual está en función al motor de combustión, lo que supone importantes gastos de operación y mantenimiento, así como contaminantes ambientales. De este modo, nace la posibilidad de bombear agua para el riego agrícola utilizando la energía solar fotovoltaica. El documento ilustra la caracterización y evaluación de la técnica solar disponible en varias inclinaciones utilizando información de la aplicación de la NASA, lo que arroja  $3.72 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  de flujo de radiación y una inclinación idónea de  $7.6^\circ$ . Además, muestra el consumo de energía del bombeo; necesitando agua de  $41 \text{ m}^3/\text{día}$ , se necesitarán  $3127.5 \text{ Wh/día}$  de energía. La bomba que eligió mediante el caudal pico y altitud, y utilizó un motor solar de tipo PS2800 CYJ8-7. Seleccionados estuvieron 17 paneles; la evaluación económica tuvo como resultado \$ 15 976.67.

Asmat (2018), en su investigación titulada “Determinación de la eficacia de un sistema de bombeo solar en el distrito de Yaurisque – Cusco”. Siendo el propósito de analizar la eficacia de un sistema de impulsión solar y estimar la cantidad de fluido a bombear bajo los contextos meteorológicos del distrito de Yaurisque. Indicando en sus resultados que “Se descubrieron las siguientes ecuaciones para explicar el comportamiento del caudal en función de la radiación  $Q = 0.0006 * R + 0.6335$ ; con un coeficiente de correlación del 52.68 por ciento, para las condiciones del barrio durante un periodo de tiempo y utilizando los dispositivos mencionados anteriormente, donde Q es el caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) y R es la radiación solar ( $\text{W/m}^2$ ). Se



descubrió otra ecuación,  $P = 0.089 \cdot R + 56.216$ , con un coeficiente de correlación del 67%, para describir la variación de la potencia en función de la radiación (W). "La radiación solar varía de 1002.048 a 1036.476 W/m<sup>2</sup> durante el periodo de medición en el campo, lo que supone una energía solar que oscila entre 4.01 y 5.18 kWh/m<sup>2</sup>/día".

Llatas (2018), en su investigación titulada "cálculo de un sistema de riego por aspersión mecanizado de 22 m<sup>3</sup>/h para el ahorro del gasto de agua en el parque de avenida separadora industrial – Vitarte", tuvo como objetivo de diseñar un sistema de riego que permita un ahorro del gasto de fluido "agua" en el área en estudio; en el diseño del sistema de riego por "aspersión", tomo en cuenta cinco hectáreas; siendo el diseño del sistema de riego que alcanza los pasos: compilación de información sobre la zona. para el diseño agronómico empleó el programa informático CROPWAT 8.0, que incluye el diseño de las exigencias de agua y el ajuste de elementos del riego. El cálculo hidráulico, implicó el cálculo de la exigencia del sistema, el déficit de carga, la selección del motor hidráulico que se empleara, el cálculo de electricidad y de clasificación, que implica la sistematización de las medidas determinados en los dos procesos anteriores mediante programadores y temporizadores. Estaba prevista una demanda de 209.40 m<sup>3</sup>/h con una demanda máxima de 23.3323 m<sup>3</sup>/h en las tuberías de la red 1000.25 m. se adquirieron en diámetros de 111.90 mm, y se eligió una bomba tipo 40-200 con una potencia nominal de 20 HP. El sistema de riego utilizó 19.5 m<sup>3</sup>, lo que supuso un considerable ahorro de agua.

Peralta (2018), en su investigación titulada "investigación experimental de un sistema de bombeo fotovoltaico en corriente sistemática", tuvo como objetivo de realizar un estudio experimental en la producción del flujo eléctrico para el impulso



de agua empleando un método de módulos fotovoltaicos en corriente sistemática, minimizando las emisiones de gases nocivos causadas por el uso de equipos basados en combustibles fósiles, se utilizaron varios equipos de medición para recoger datos climáticos con el fin de estimar el potencial energético del área y la eficacia del sistema de impulsión. Este estudio consiente utilizar la radiación solar fotovoltaica en flujo continuo, ya que ahora es ampliamente accesible y la tecnología está evolucionando rápidamente para incluir equipos adecuados para una variedad de aplicaciones. Es fiable y seguro, la transformación y uso por el cual sólo necesitan una básica tecnología y poca mantenimiento. Siendo resultante sugerir que la costumbre de la energía fotovoltaica en flujo continuo es más eficaz que el empleo de un sistema fotovoltaico en corriente alterna porque elimina la necesidad de la conversión CC/CA y consiente la práctica manual de la tecnología fotovoltaica. Otro significativo efecto revela que los módulos fotovoltaicos de flujo continuo crean una pulsación que se asemeja a una onda, lo que aumenta la eficiencia de la producción de campo magnético, según la literatura estudiada.

Palomino (2016), en su investigación titulada “Cálculo del sistema de riego por aspersión mediante la programación de riego en el ayllu Urpaypampa”, tuvo como objetivo de crear y evaluar la solución hidráulica más práctica presentando una programación del riego y los gastos de diseño del plan siendo el método de diseño para 26 hectáreas con los cultivos a instalar de guisantes y alfalfa que requiere una cantidad de 1813.67 m<sup>3</sup>/ha en agosto, mes que exhibe una cantidad total, para las 26 ha, de 47229 m<sup>3</sup> y un sistema de riego de 0.68 l/s/ha; almacenado en un depósito de 760 m<sup>3</sup> de cantidad con una demanda de entrada de 17.70 l/s, y una demanda de vertimiento de 35.30 l/s; usaron dos tipos de aspersores en los laterales de riego, disponiendo en cuenta la presión y la clase de suelo. El aspersor Ibis (boquillas de 5



mm y 6 mm con una presión para impulsar de 30 a 37 m.c.a y una demanda de 1.19 lt/s). Y el aspersor Xcel Wobbler (boquilla de 5,57 mm, presión para impulsar de 8 a 20 m.c.a, caudal de 0.27 a 0.43 lt/s). Esto es menos que la razón de infiltración primordial en el suelo de 16.11 mm/h, y todo ello va a tres opciones de riego. 1) S/ 666.397,76 soles; 2) S/ 691.244,21 soles; y 3) S/ 714.161,03 soles.

### **2.1.2 Antecedentes Regionales**

Jara & Ramos (2018), en su investigación titulada “cálculo y ejecución de un prototipo mecanizado de un sistema de bombeo de agua para riego, ganadero y consumo humano empleando energía fotovoltaica”; tuvo como finalidad la viabilidad del impulso del fluido automatizado empleando energía fotovoltaica para el riego, el ganado y el uso humano, teniendo en cuenta la problemática de la insuficiencia de los métodos fotovoltaicos para el riego computarizado en los entornos altoandinos. Eligió el centro poblado de Ichu para el estudio porque permite la creación de un modelo computarizado con paneles solares, así como el desarrollo de un diseño idóneo utilizando el método de automatización de la ETo de cebolla con 4.56 mm/día con una superficie de 200 m<sup>2</sup> con un módulo de riego delimitado a una efectividad del 90% con una demanda de 0.47 l/s, periodo de riego de 1.15 h/día, y una tubería primaria, datos heliográficos mensuales de 5.66 h/día, un caudal de impulso de 3.24 l/min, y se utilizaron paneles solares de 13 V y 4.83 A para la estimación de los paneles. Según los cálculos, se necesitan 04 paneles con una potencia total de 231.84 vatios. Para controlar el sistema automatizado se utiliza el microcontrolador Arduino UNO, programado en lógica C/C++. Teniendo en cuenta los resultados de un análisis económico de los costos de inversión inicial, de reposición, los costos de recuperación y los costos de electricidad, entre otros. Para una vida útil de 20 años. El módulo de riego solar tiene un costo de S/ 5787.60, mientras que el sistema



eléctrico regular tiene un costo de S/ 11247.16, un gran premio por encima del sistema de riego solar. Se determinó que el prototipo fotovoltaico es rentable, utiliza energía solar limpia y está totalmente automatizado, demostrando su utilidad para una familia rural.

Maquera (2014), en su investigación titulada “Evaluación económica del sistema de riego tecnificado en el cultivo de alfalfa en Vilcallami-Juli”, plantea módulos de riego por aspersión y por goteo en el crecimiento de la alfalfa, utilizando dos formas de riego y calcular la viabilidad económica de los gastos de disposición y explotación del riego por aspersión y por goteo. Además, para calcular la ETo y la programación del riego se utilizó el enfoque del balance hídrico y la metodología Penman-Monteith, respectivamente, utilizando el software "CROPWAT 8.0" versión para Windows. El cálculo agronómico del sistema de riego comenzó con los ensayos (de infiltración y vertido de goteros), utilizando esta información para estimar la lámina neta de riego a emplear en el riego, y subsiguientemente se calcularon los demás elementos. El proceso de cálculo hidráulico se comenzó con la selección de emisores y la demanda requerida, resultando en la construcción de 3 flancos de riego por aspersión y 82 flancos de riego por goteo; como resultado se obtuvieron las siguientes conclusiones el riego por goteo requiere 3 horas con caudales de 17.48 m<sup>3</sup>/ha/3 horas, en tanto que el riego por aspersión requiere dos horas con un caudal de 189.68 m<sup>3</sup>/ha/2 horas, según el diseño agronómico. Además, como los intervalos de riego pueden prolongarse hasta ocho días utilizando el riego por aspersión, el suelo tiene un gran potencial de retención de humedad. El segundo corte proporciona una ventaja en términos de producción de biomasa forrajera, con un rendimiento de 36100 kg/ha para el riego por goteo y de 34900 kg/ha en el riego por aspersión. En términos de rentabilidad, el riego por goteo tiene un margen de beneficio del 175%



en el segundo corte, mientras que el riego por aspersión tiene un margen de beneficio del 177%, lo que demuestra que el riego por aspersión tiene prioridad en este escenario. El riego por aspersión (3913.91VAN) y el riego por goteo (3913.91VAN) tienen un valor presente neto positivo en nuevos soles (348.21VAN). Según el análisis costo-beneficio, en un 1.23% es superior para el riego por aspersión mientras que el 1.12% es preferible para el riego por goteo. En consecuencia, el riego por aspersión es la solución más rentable durante la vida del proyecto.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Energía solar**

Es la energía que proviene de la captación del calor emanado por el sol. Puede utilizarse para generar energía o para calentar cualquier cosa. La intensidad de esta energía accesible se ve afectada por diversos factores, como la época del año, las condiciones meteorológicas y la latitud (Heredia y Sámchez, 2018).

La energía solar viaja por el espacio hasta que choca con la capa atmosférica y la franja terrestre. Sólo el 34% de la energía total llega al globo a través de la atmósfera, por lo que no toda llega al planeta (Lara, 2007).

Sin embargo, teniendo en cuenta que se trata de una energía verde o también llamada renovable, estamos colaborando en la lucha contra el desastroso calentamiento global al que se enfrenta actualmente nuestro planeta (OSINERGMIN, 2017).



**Figura 1.** Forma de llegada de la energía solar a la tierra.

**Fuente:** (OSINERGMIN, 2017).

### 2.2.2 Energía fotovoltaica

Se fundamenta en el resultado fotoeléctrico, que reside en convertir la luz solar en energía eléctrica. Para ello, se utilizan materiales con la capacidad única de absorber fotones y liberar electrones. Se somete a un tratamiento químico particular para las células fotovoltaicas con el fin de crear, un módulo, eléctrico positivo y negativo. Los electrones son expulsados del material semiconductor después que la luz solar repercute en la celda, que posteriormente se recogen, dando lugar a una corriente eléctrica (Jara y Ramos, 2018).

La energía eléctrica puede utilizarse para alimentar una carga, sin embargo, un módulo fotovoltaico presenta múltiples células conectadas eléctricamente e instaladas en una estructura. Se puede crear un campo solar conectando muchos módulos entre sí. Los paneles solares proporcionan electricidad de corriente continua y pueden enlazarse en serie para obtener el voltaje deseado (Ladrón, 2017).

#### 2.2.2.1 Panel fotovoltaico

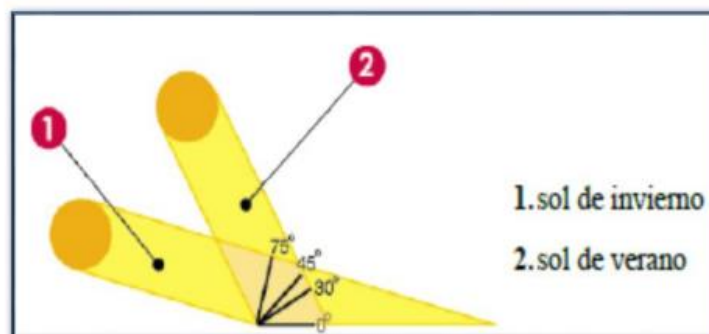
Los módulos de energía fotovoltaicas están vinculados de tal manera que se ajustan a las exigencias del mercado y de los equipos (Davalos, 2019).



### 2.2.2.2 Orientación de los paneles

Considerando que en mayor proporción la energía emitida por el sol se transmite en una ruta recta, los módulos deben colocarse "de cara" al sol, sin embargo, como el sol no permanece inmóvil, hay que encontrar algunos criterios para estimar la dirección del arreglo. Esta disposición está definida por el acimut (ángulo de medición de la salida del sur la latitud norte y del norte en la latitud sur) y la altitud (ángulo que mide la divergencia del norte en el hemisferio sur).

- **Azimut:** Es el arreglo que debe situarse en paralelo al ecuador de la tierra (frente al sur en la región norte, frente al norte en la región sur) para absorber la máxima cantidad de radiación posible durante el día.
- **Inclinación:** es el punto más alto en el que se puede ver el sol en un día determinado; fluctúa con las estaciones, alcanzando su punto más alto en el solsticio de verano y su punto más bajo en el invierno. Siendo posible tener dos orientaciones, siendo para el verano y la otra para el invierno, existiendo una diferencia significativa de consumo durante el verano.



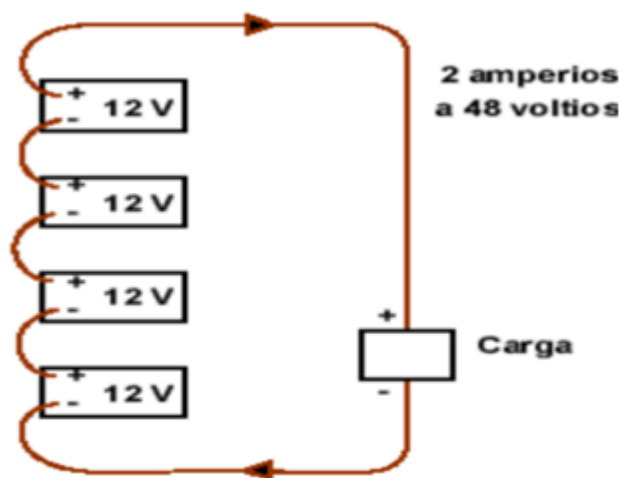
**Figura 2.** Ángulo de inclinación  $\beta$  para la implementación de paneles.

**Fuente:** (Jara & Ramos, 2018).

### 2.2.2.3 Arreglo fotovoltaico

Es un grupo de módulos acoplados eléctricamente en paralelismo (Comisión Nacional de Riego, 2018). Las peculiaridades eléctricas del conjunto son comparables a las de los arreglos individuales y los valores de potencia, corriente y tensión fluctúan en función del número de arreglos interconectados en paralelo (Comisión Nacional de Riego, 2018).

Un conjunto solar es una colección de arreglos fotovoltaicos interconectados en paralelo por electricidad. Las cualidades eléctricas del conjunto son similares a los arreglos de carácter individual, y la fuerza, la corriente y la tensión varían en función del número de arreglos interconectados en paralelo (Jara y Ramos, 2018).



**Figura 3.** Conexiones en serie de un sistema fotovoltaico.

**Fuente:** (Comisión Nacional de Riego, 2018).

### 2.2.3 Sistema de riego

Según Palomino (2016), menciona que el sistema de riego es un grupo de componentes que transportan el agua, desde una fuente hasta la ubicación de la parcela y la distribuyen en la misma. La infraestructura, así como la organización



encargada de su gestión y mantenimiento y el sistema de producción agrícola de regadío son tres componentes del sistema; estos tres elementos deben estar presentes posibilitando que, los proyectos de riego estén bien coordinados y sean funcionales.

### 2.2.3.1 Sistema de riego por aspersión

Según Aguirre (2012), el riego por mecanismos de aspersión recibe su nombre del hecho de que requiere una cantidad específica de presión para funcionar. Se puede utilizar una variabilidad de elevación entre el origen del agua y la región a regar para obtener agua.

Según Perez (2011), los sistemas de riego por este mecanismo, presentan varias ventajas, como una mayor eficacia de la aplicación, una medición relativamente sencilla y económica de los caudales consumidos en el sistema general, una regulación más natural y económico, y la posibilidad de agregar abonos directamente en el agua de demanda de riego; concurren varios métodos para controlar los caudales en los procesos de riego a presión, destacándose los siguientes:

- **Riego por turnos.** El sistema está estructurada de tal manera que cada regante (parcela o cala) puede utilizarla durante el horario que más le convenga (Perez, 2011).
- **Riego a la demanda.** Cualquier regante (de la parcela o de la toma) puede realizar el riego en cualquier instancia garantizado por el diseño de la red. (Perez, 2011).

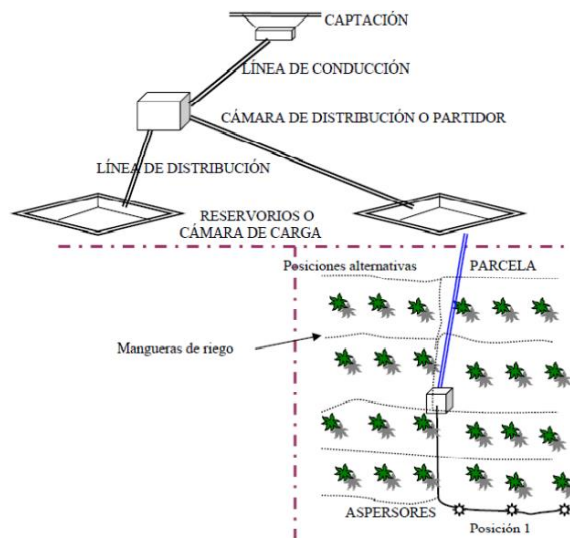


### 2.2.3.2 Componentes del sistema de riego por aspersión

Según Palomino (2016), describe los siguientes componentes para el riego por aspersión:

- a) **Captación.** Es aquella estructura de carácter hidráulico que desvía el agua de los arroyos, manantiales y fuentes a la tierra.
- b) **Línea de conducción o impulsión.** Es una construcción hidráulica que redirige el agua de los arroyos, manantiales y fuentes a la tierra.
- c) **Reservorio.** Es el embalse que sirve para gestionar el caudal entre el caudal fijado por el área de riego procedente de la tubería y el caudal empleado por los aspersores del sector; el depósito absorbe cualquier desequilibrio que pueda existir entre ambos; también funciona como cámara de carga, generando una presión constante para el sistema.
- d) **Red de distribución.** Son aquellos conductos que distribuyen el fluido a las distintas secciones de riego; en los sistemas entubados pueden utilizarse obras provisionales como son: válvulas de aire, de purga, control y cámaras de alivio de presión.
- e) **Válvula de control.** Son accesorios que abren y cierran o regulan el flujo de agua, sirviendo como control de la distribución de flujo y agua a lo largo del sistema; y estas suelen estar situadas en el inicio de las redes primarias y secundarias, así como también hay otras válvulas situadas estratégicamente a lo largo de las redes primarias y secundarias para dar seguridad al sistema en caso de rotura o actividades de mantenimiento.
- f) **Línea de riego.** Tiene la función de distribuir el agua por la sección de riego, enviando la demanda de riego a presión a las líneas para riego móviles a través de los hidrantes. Está formada por tuberías subterráneas

de PVC con diámetros calculados de forma que haya presión suficiente para los aspersores de cada hidrante.



**Figura 4.** Sistema de riego

**Fuente:** (Palomino, 2016).

- g) **Aspersores.** Son mecanismos para esparcir o dispersar un líquido a presión. El aspersor Xcel Wobbler se empleará en esta investigación porque tiene una inclinación de rotación de ejercicio excéntrico único que proporciona una cubierta de alta semejanza a bajas presiones. Tiene un caudal de (999, 1224, 1415, 1583 l/h) y una presión para su funcionamiento de (0.68, 1.03, 1.28 y 1.62 bar).



**Figura 5.** Aspersor Xcel Wobbler.

**Fuente:** (Palomino, 2016).



## 2.2.4 Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego por Aspersión

### 2.2.4.1 Topografía de terreno del lugar

Según Jara y Ramos (2018), para identificar la superficie, la forma, las pendientes, la ubicación y la altura del pozo de agua en donde se ubicará el dispositivo de bombeo, siempre es preciso conocer la topografía de la zona donde se construirá el sistema de riego; el objetivo es calcular la carga dinámica total que requerirá el sistema.

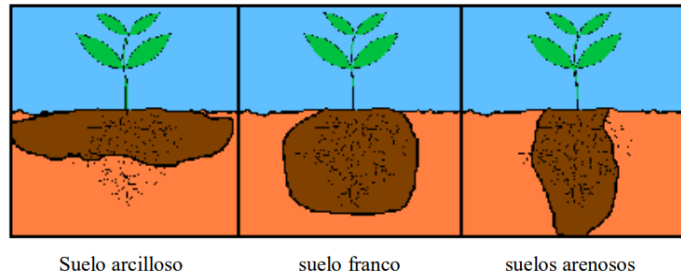
### 2.2.4.2 Contenido de agua en el suelo

Según Lara (2007), menciona que, en las operaciones de riego y drenaje, es muy conveniente describir la demanda de agua de la tierra en palabras de altura de la lámina de agua, es decir, volumen por unidad de superficie; las unidades más utilizadas son los  $m^3/ha$  y los mm, que tienen la siguiente relación

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

### 2.2.4.3 Tipo de suelo

Según Gorka (2012), indica que es fundamental conocer la clase de suelo en el que se cultivan los productos, ya que esta información se utilizará para calcular el volumen de fluido requerido para garantizar el correcto crecimiento de los productos agrícolas.



**Figura 6.** Tipos de suelo

**Fuente:** (Gorka, 2012).

#### 2.2.4.4 Densidad aparente de suelo

Según Jara y Ramos (2018), menciona su valor en los horizontes A se sitúa normalmente entre 1 y 1.25, pero puede alcanzar 1.5 o más en los horizontes B. Permitiendo construir equivalencias entre la relación masa/masa, que son la técnica más común de evaluación de las propiedades del suelo, y las relaciones masa/superficie, que se utilizan para tratar las insuficiencias del suelo mediante adiciones.

**Tabla 1.** Densidad aparente de tipos de suelo

Textura	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Arenoso	1.13
Franco arenoso	1.42
Franco arcilloso	1.58
Franco	1.58
Arcilloso	2.23

**Fuente:** (Jara & Ramos, 2018).

#### 2.2.4.5 Capacidad de campo

Según Ramos y Luna (2014), menciona que cuando se ha drenado el exceso de humedad y el ritmo de caída ha disminuido lo suficiente, la cantidad

de humedad de la tierra se ha incrementado; según datos de laboratorio, el contenido de agua de un suelo a capacidad de campo se conserva a un tirante de alrededor de 1/3 de atmósfera.

**Tabla 2.** Valores normales de capacidad de campo

<b>Textura</b>	<b>Capacidad de campo (%)</b>
Arenoso	12
Franco arenoso	16
Franco arcilloso	31
Franco	41
Arcilloso	48

**Fuente:** (Ramos & Luna, 2014).

#### 2.2.4.6 Punto de marchitez permanente del suelo

Según Ramos y Luna (2014), mencionan que es aquel nivel de humedad presente en el suelo en el que las plantas tienden a marchitarse de manera permanente; si no se añade más agua al suelo, la evaporación del suelo y la extracción de las raíces agotan el agua almacenada hasta el punto de que las raíces ya no pueden recogerla.

**Tabla 3.** Valores normales de coeficiente de marchitez

<b>Textura</b>	<b>Punto de marchitez permanente (%)</b>
Arenoso	5
Franco arenoso	7
Franco	13
Franco arcilloso	17
Arcilloso	19

**Fuente:** (Ramos & Luna, 2014).





#### 2.2.4.7 Cálculo agronómico

Según Palomino (2016), indica que los cálculos agronómicos son un componente crítico del esquema en el sistema de riego; también se describe como la causa de certificar que la red hidráulica del régimen sea competente para compensar las exigencias de agua de la planta desde época de un máximo consumo, empapando el bulto del suelo obligatorio para su crecimiento con la máxima eficiencia de aplicación y se divide en dos importantes fases.

- Estimación de las necesidades de agua de las plantas: se refiere a la medición de la demanda de agua que necesitan las plantas para reestablecer la evapotranspiración y el agua retenida. Estas necesidades deben conocerse para construir: La captación, distribución y su aplicación de agua, así como para proyectar la cantidad de agua que se puede regar y durante cuánto tiempo. La evaporación que se produce en una superficie extensa cubierta de vegetación herbácea cuyo suelo está bien suministrado de agua se conoce como evapotranspiración.
- Determinación de la cantidad, la periodicidad y el tiempo de riego: las necesidades de riego suelen describirse en requisitos de lámina de agua en, mm/día. La estimación del volumen del agua que debe emplearse durante el ciclo de la planta y, más concretamente, la demanda pico para el dimensionamiento de la red hidráulica en contextos críticos, es una variable importante en el dimensionamiento del riego. El escaso entendimiento de las exigencias de agua de las plantas en los picos de demanda. La lámina de riego y el intervalo de riego tienen una relación directa. Siendo el intervalo de riego se acorta a medida que aumenta la



periodicidad como la duración del gasto de agua de las plantas analizados es menor, por lo que la lámina de riego requerida también se reduce.

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

Es el control que se produce en ausencia de limitaciones del recurso hídrico, la zona de informe es un hipotético cultivo de hierba de altura semejante que está bien regado y crece en contextos ideales; las medidas climáticas como “temperatura tanto mínima, media y máxima, humedad relativa (HR), viento, radiación solar extraterrestre, horas de luz, etc.” son los únicos elementos que perturban a la ET<sub>o</sub>; los rasgos del cultivo y las condiciones del suelo no se tienen en cuenta.

• **Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)**

Según Llatas (2018), indica que existen variadas metodologías para estimar la ET<sub>o</sub> pero el más representativo es el **método de Penman-Monteith** esto debido a que los otros métodos empíricos presentan desviaciones importantes, por consiguiente conducen a una sobreestimación o subestimación de la demanda hídrica.

- **Método de Penman-Monteith.** La ecuación original de Penman-Monteith puede para estimar la ET<sub>o</sub>. Este enfoque mejora las imprecisiones del método anterior, dando como resultado unas cifras globales que se ajustan más a la información real de uso del agua para cultivos variados; el cultivo de referencia se definió como un cultivo ficticio para crear esta estrategia (Llatas, 2018).

La ET<sub>o</sub> se calcula mediante el método Penman-Monteith y la fórmula de ET<sub>o</sub>. En este cálculo se utilizan la radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad y la velocidad del viento. Para garantizar la exactitud del



cálculo, la información climática debe medirse o convertirse a 2 metros de altitud, en base a una amplia zona de hierba verde, que cubra plenamente el suelo y sin perturbaciones de agua, y se personifica por medio de la siguiente formula (Llatas, 2018).

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu 2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu 2)}$$

**Donde:**

**E<sub>To</sub>**: evapotranspiración de referencia (*mm/día*)

**R<sub>n</sub>**: radiación neta en la superficie del cultivo (*MJ/m<sup>2</sup>/día*)

**G**: Flujo de calor del suelo (*MJ/m<sup>2</sup>/día*)

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

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

**es**: presión de vapor de saturación (*kPa*)

**en**: presión real de vapor (*kPa*)

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

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

#### **b) Necesidad de cálculo de la demanda de agua**

Según Llatas (2018), señala que una estimación competente del requerimiento de agua es el cimiento para diseñar el módulo de riego y, también, dar una respuesta aceptable a los requerimientos de agua de las plantas, lo que se irradiará en las características estéticas de la región afectada.

Así mismo la FAO (2007), menciona que la evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ) también se le conoce como evapotranspiración real del agua de las plantas; es la cuantía de agua extenuada en una específica planta en el transcurso del espacio de tiempo apreciado.

La fórmula que estima la evapotranspiración del cultivo es la siguiente:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

**Donde:**

$ET_c$ : *Evapotranspiración de cultivo*

$K_c$ : *Coficiente para cada cultivo*

$ET_o$ : *Evapotranspiración de un cultivo de referencia*

**c) Coeficiente de cultivo**

Según Palomino (2016), el  $K_c$  tiende a relacionar el uso consuntivo de la planta y la  $ET_o$ , según el artículo, el  $K_c$  enuncia la fluctuación del potencial de la planta para extirpar el agua de la superficie por el ciclo vegetal: en general, las plantas anuales tienen 4 etapas dentro de su ciclo vegetativo.

- **Fase inicial:** Cubre a partir de la siembra hasta la emergencia y hasta que el cuerpo del cultivo haya cubierto el 10% de tierra.
- **Fase de desarrollo:** Hasta que se complete el crecimiento del cultivo o se alcance una cobertura efectiva del 70% al 89%, el cuerpo del cultivo envuelve el 10% de la cubierta.
- **Fase de media estación:** desde el final del desarrollo del cultivo hasta su nacimiento de la madurez del mismo.

- **Fase de última estación:** a partir del inicio de la madurez hasta su última maduración.

**Tabla 4.** Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego

Pastos	Kc inicio		Kc fin	
	H*	S*	H	S
<b>Alfalfa</b>	<b>0.50</b>	<b>0.40</b>	<b>0.85</b>	<b>1.00</b>
Leguminosas	0.55	0.55	1.00	1.05
Pasto para heno	0.60	0.55	0.80	0.90
Pasto bajo pastoreo	0.55	0.50	0.95	1.00

NOTA: H\* = clima húmedo S\* = clima seco

**Fuente:** (FAO, 2007).

#### d) **Parámetros de riego**

Según Jara & Ramos (2018), muestran que la recogida de parámetros de riego para el diseño y el dimensionamiento de los dispositivos de riego requiere datos agrotécnicos como:

- PM= Contenido de humedad del suelo en el punto de marchitamiento (% en peso).
- Z= Profundidad radicular efectiva (m).
- CC= contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% en peso).
- DT= descenso tolerable, déficit permisible de manejo o nivel de agotamiento permisible del agua en el suelo para producir un mejor balance económico (%).
- Da= Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ).
- A=Área total a regar.
- Ea=Eficiencia de aplicación estimada.
- DL=Días libres de riego durante un ciclo de riego.



- $T_{dr}$ =tiempo disponible de riego al día.

### 1) **Lamina neta de riego ( $L_n$ )**

Según Llatas (2018), menciona que la película neta se calcula en función a los parámetros físicos de la tierra, que definen su potencial de acopio hasta la hondura de raíces de las plantas.

### 2) **Lamina bruta de riego ( $L_b$ )**

Según Jara y Ramos (2018), menciona que la  $L_b$  es la cuantía de fluido que debe rellenarse en cada riego, teniendo en cuenta la gestión del agua en la tierra, la  $L_n$  y la cantidad de Evapotranspiración para un espacio de elevado requerimiento.

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

Según Jara y Ramos (2018), mencionan que conocer la lámina bruta de riego ( $L_b$ ), es indicativo de la necesidad de agua necesitada en la reposición de la humedad extraída por las plantas y las condiciones del ambiente a lo largo del tiempo; sin embargo, dado que esta lámina se aplica mediante el riego, era importante determinar la magnitud de la intensidad de aplicación ( $I_a$ ), que se mide en milímetros por hora (mm/h).

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

Según Jara y Ramos (2018), mencionan que estará determinado por la lamina bruta ( $L_b$ ) y la intensidad de aplicación ( $I_a$ ).

### 5) **Volumen y Caudal de riego**

Según Llatas (2018), indica que el volumen de riego está en función al área de riego y a la lamina bruta de riego.



El caudal se refiere al bulto de agua que se deriva por una tubería en un lapso de tiempo específico; el caudal en la colecta de fluido del método de riego es fundamental, ya que este dato, junto con el tamaño del jardín y los requerimientos de agua de los géneros cultivadas, determinará la cantidad de emisores requeridos y la zonificación del riego.

#### **6) Programación de turnos de riego**

Según Llatas (2018), menciona que la definición de las válvulas que se abrirán o de las parcelas que se regarán simultáneamente durante un turno de riego se conoce como programación de turnos; si se riega toda la zona o todas las válvulas están inmovilizadas a funcionamiento, esta serie de apertura de las válvulas se establece generalmente en el diseño de la operación del riego, esta programación es fundamental para evaluar de forma técnica el correcto rendimiento hidráulico del proceso; por lo contrario, algunas regiones del proyecto pueden experimentar baja presión, comprometiendo la uniformidad del suministro de agua.

#### **2.2.4.8 Calculo hidráulico**

Según Palomino (2016), menciona que el diseño hidráulico tiene en cuenta los diámetros, las longitudes, los caudales, las presiones y las velocidades de las distintas tuberías que componen el sistema; a las reseñas calculadas en la época anterior se añaden en esta etapa las condiciones técnico-económicas y las preferencias del agricultor.

## a) Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

- Cálculo del número de paneles

Según Davalos (2019), menciona que para el cálculo del sistema se ha de seleccionar módulos fotovoltaicos de una potencia a considerar en el diseño según la siguiente fórmula de cálculo de numero de paneles.

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

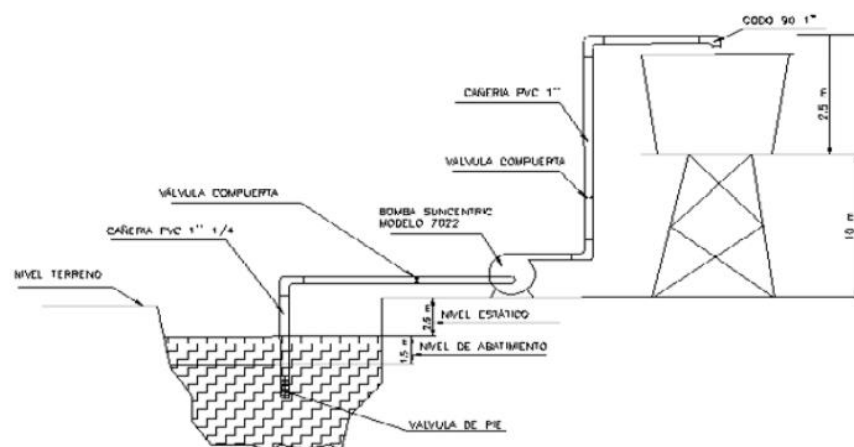
Donde:

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

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

- Almacenamiento de energía

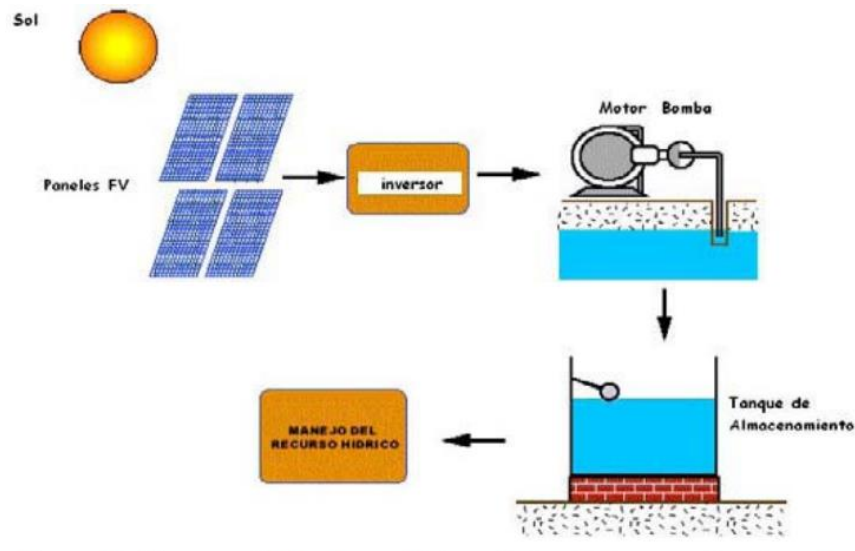
Según Davalos (2019) indica que para conocer la cantidad de carácter que se puede acopiar en una batería, el comprador tendrá que especificar una cantidad exacta de la capacidad de almacenamiento de la batería; según la potencia establecida del arreglo fotovoltaico calculado.



**Figura 7.** Sistema de impulsión de un sistema de agua para riego

**Fuente:** (Gorka, 2012).





**Figura 8.** Diagrama de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua.

**Fuente:** (Lara, 2007).

## 2.2.5 Cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*)

### 2.2.5.1 Origen y características botánicas de la planta

Según Maquera (2014), indica que la alfalfa incumbe a la clase de las dicotiledóneas, al orden de las leguminosas, a la familia de las leguminosas y a la tribu de las trifolias. Es originaria de Turquía, Siria, Irak, Irán y Afganistán, así como del suroeste de Asia Menor y el sur del Cáucaso. Es posible que su cultivo pasara de aquí a Grecia (unos 470 años antes de Cristo), luego a Italia, a los países de Europa, incluida España, y finalmente a América del Centro y del Sur con la invasión.

Así mismo menciona que la alfalfa es una leguminosa perenne de gran altura con una raíz pivotante principal, bien próspera que puede alcanzar profundidades de 2 a 6 m, con informes de raíces que llegan a más de 10 m. Tiene hojas acomodadas, numerosas, trifoliadas o multifoliadas. Los tallos son



erguidos, de 10 a 25 m, y se producen a partir de la corona, que también produce las yemas. La corona puede hallarse en el suelo o debajo de la superficie del mismo, según la variedad. Su floración es de color púrpura y violeta y se disponen en racimos. El fruto es una legumbre; es retorcido y tiene de una a cinco espirales; cada grano contiene numerosas semillas pequeñas con forma de riñón. El peso de 1000 semillas oscila entre 2.1 y 2.5 gramos.

#### **2.2.5.2 Exigencias climáticas**

Según el INIA (2000), menciona que la alfalfa es prospera en diversos climas, pero se desarrolla mejor en condiciones cálidas, secas y templadas. Para que sus semillas germinen se necesitan temperaturas de 2°C a 3°C, permanentemente que otros elementos, como la humedad y los fertilizantes, no sean un factor limitante. Tolerando condiciones de 10°C a 15°C bajo cero una vez establecida; con temperaturas medias anuales de 15°C, su progreso y creación de forraje son críticos. La temperatura ideal fluctúa entre los 18°C y los 28°C, según la variedad. La alfalfa es fuerte a la sequía debido a su profundo sistema de raíces, pero es más severo con la humedad de la tierra que otra legumbre, requiriendo más agua que cualquier otra. La alfalfa necesita entre 700 kg y 800 kg de agua para originar un kilo del material. Esto no quiere decir que la alfalfa no pueda cultivarse en la sierra con una precipitación de 500 mm a 700 mm por año; como se ha dicho anteriormente, la alfalfa tiene grandes raíces pivotantes que le permiten extraer agua de las áreas más hondas del suelo; la alfalfa se planta en Perú en la costa y en la sierra occidental, desde el horizonte del mar hasta altitudes próximas a los 4000 m.s.n.m.



### 2.2.5.3 Exigencias edáficas

La alfalfa solicita suelos bien drenados, hondos, penetrables, medios (franco arenoso, franco limoso) y pesados (franco arcilloso) con un pH neutro y adecuada fertilidad así mismo tolerancia a las sales (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

Cuando se plantan en suelos con un inadecuado drenaje interno, las raíces son vulnerables a la escasez de aire causada por el depósito de agua, y el cultivo muere pronto como resultado (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

Uno de los problemas más destacados que limitan la producción de alfalfa es la acidez del suelo, por lo que la alfalfa no se produce en suelos ácidos en las selvas altas y bajas (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

Suelos ácidos reduce el recurso de nutrientes clave para los cultivos, como P, Ca y Mg, al tiempo que aumenta la disponibilidad y la absorción de componentes nocivos como el aluminio y el hierro por parte de la planta (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

En estas circunstancias, el encalado es necesario antes de la fijación de la alfalfa, utilizándose dosis de  $\text{CaCO}_3$  en función a la acidez del suelo, siendo 2 Tn por ha. la dosis más habitualmente sugerida (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

El pH ideal del suelo es de 7.2, pero los suelos de baja fertilidad pueden cultivarse con un pH de 6.5 a 7.5, lo que permite obtener rendimientos elevados y sostenidos, especialmente en lo que respecta a los niveles de fósforo (Miñon, Gallego y Barbarossa, 2013).



Los siguientes elementos deben ser considerados al seleccionar la tierra para el establecimiento de la alfalfa con el fin de lograr resultados óptimos (Miñon, Gallego, y Barbarossa, 2013).

- Suelos profundos, permeables, de textura media, con buen drenaje.
- El pH del terreno debe estar entre 6.5 a 7.5 que se determina haciendo un análisis del suelo antes de la siembra.
- Elegir el terreno cultivado de papa, maíz, quinua, cebada, avena y otros
- Deberá descartarse los suelos ácidos y los que tengan peligro de inundación.

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1 Riego**

Es aquella técnica empleada para suministrar artificialmente el agua necesaria a una zona específica de la tierra, principalmente para ayudar al desarrollo de las plantas. Por su relevancia en el desarrollo agrícola, se ha empleado desde la antigüedad (EDduca, 2020).

### **2.3.2 Sistema de riego**

Vínculo de estructuras que permiten cultivar una zona específica proporcionando la cantidad adecuada de agua a las plantas; está compuesto por una serie de componentes que varían en función de si el riego es de superficie, por aspersión, también por microaspersión o goteo (MINAGRI, 2018).



### **2.3.3 Riego por aspersión**

Según López (2018), indica que es un método de riego en el que el fluido se suministra mediante sistemas de aspersión alimentados por agua en forma de lluvia; estos aparatos deben garantizar que el agua se distribuya uniformemente por la zona regada.

### **2.3.4 Necesidad hídrica del cultivo**

Según Peralta y Castillo (2016), mencionan que el volumen de fluido que precisa una planta para crecer hasta su máximo potencial. Siendo también la cantidad de agua que se requiere para la evapotranspiración y la formación de células en toda la temporada de desarrollo de un cultivo específico en un clima determinado cuando el agua del suelo se suministra idóneamente por medio de la lluvia o riego, optimizando así el desarrollo de los cultivos y los rendimientos agrícolas.

### **2.3.5 Cálculo agronómico**

Según Maquera (2014), indica que el objetivo del cálculo agronómico es garantizar que el sistema pueda suministrar la cantidad conveniente de agua y, al mismo tiempo, controlar la sal y maximizar la eficacia de la aplicación de agua.

### **2.3.6 Cálculo hidráulico**

Según Maquera (2014), indica que se tienen en cuenta los diámetros, las longitudes, los canales, las presiones y las velocidades de las distintas tuberías que componen el sistema, a los datos generados durante la fase de cálculo agronómico se añaden las condiciones técnicas y económicas, así como las elecciones del agricultor.



### **2.3.7 Energía fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica se genera transformando la luz solar en energía eléctrica por medio de tecnología fundamentada en la derivación fotoeléctrico; se trata de energía sostenible, renovable y no contaminante que puede generarse en diversos entornos, desde pequeñas unidades de autoconsumo hasta enormes centrales solares (AutoSolar, 2020).

### **2.3.8 Equipo de bombeo**

Según Peña (2014), indica que es un convertidor, pues toma la energía que se encuentra en forma mecánica y la transforma en energía para que un fluido pueda percibir como presión, ubicación o velocidad; se compone de dos porciones: una bomba y su respectivo actuador, siendo un motor tipo electrónico o un motor de ignición.

### **2.3.9 Reservorio**

Es un espacio físico utilizado para almacenar una parte del agua que entra en el campo durante los turnos de riego y para proporcionar agua al sistema de forma continua (INTA, 2018).

### **2.3.10 Línea de riego**

Según Nuñez (2017), indica que son los conductos por los que el agua se transfiere a los aspersores y, finalmente se precipita en forma de lluvia.

### **2.3.11 Presupuesto**

Según Peralta & Castillo (2016), mencionan que el término presupuesto tiene diversas aplicaciones, la mayoría de ellas relacionadas con las finanzas y la



economía; en este sentido, es la cuantía monetaria que se espera necesitar para cubrir determinados gastos.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se efectuó en el Centro Experimental Chuquibambilla, de la UNAP; localizado en el distrito de Umachiri – provincia de Melgar – departamento de Puno el cual se encuentra a 3971 m.s.n.m. en las coordenadas geográficas  $14^{\circ} 47' 05.2''$  de latitud sur y longitud oeste  $70^{\circ} 42' 56.5''$  con una superficie de 300 hectáreas.

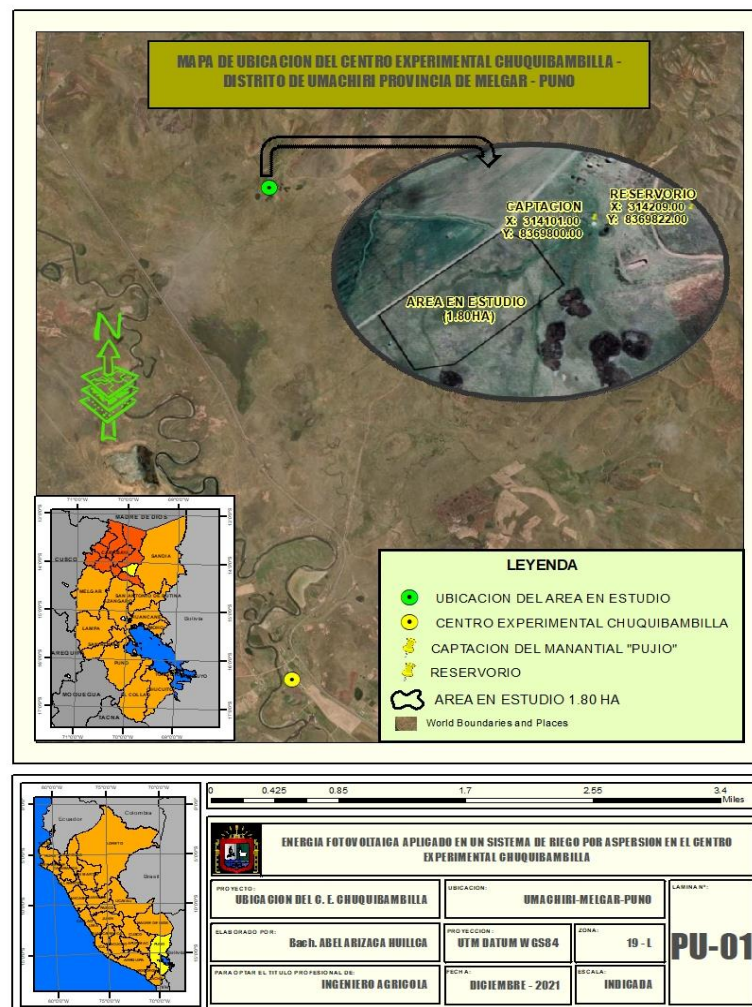


Figura 9. Ubicación de la zona en estudio.

Fuente: Elaboración propia.





### 3.1.1 Límites

El Centro Experimental Chuquibambilla, limita por el Norte con los distritos de Santa Rosa y Nuñoa, por el Sur con el distrito de Vilavila de la provincia de Lampa, por el Este con el distrito de Ayaviri, y por el Oeste con los distritos de Macari, Cupi y Llali.

### 3.1.2 Vías de comunicación y accesibilidad

Desde la ciudad de Juliaca hasta el área de estudio, la une la vía interoceánica que atraviesa la ciudad de Calapuja y Pucara de la provincia de Lampa, así mismo pasa por el distrito de Ayaviri de la provincia de Melgar, hasta llegar al desvío del kilómetro 116, posterior a ello se va dirigido por una carretera de tipo trocha, a una distancia de 2 kilómetros hasta llegar al punto en estudio.

## 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la clasificación el tipo de investigación empleado en el desarrollo del estudio es explicativo por que se tiene como intención establecer las causas de los sucesos, problemas que se estudian. (Hernandez y Mendoza, 2018), Así mismo en base al presente trabajo de investigación se pretende realizar y explicar el cálculo de la energía fotovoltaica aplicado a un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla.

En donde se pretende calcular para irrigar 1.80 ha de cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L*), mediante la captación de agua de un manantial, e impulsada por una bomba alimentado por un sistema fotovoltaico hacia un reservorio, y distribuida hacia el área de cultivo de alfalfa para su irrigación.



Además de ello el presente trabajo de investigación es de diseño no experimental; porque no existirá la manipulación de la variable independiente (Hernandez y Mendoza, 2018).

### **3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **a) Técnicas**

Las principales técnicas para recolectar información, empleadas en la presente investigación es la observación, ya que se efectuará el recorrido de la zona, otra técnica es la obtención de datos mediante la revisión documentaria de artículos, tesis, libros, páginas web, entre otros.

#### **b) Instrumentos**

- Manual de inspección y revisión de sistemas fotovoltaicos (Comisión Nacional de Riego, 2018)
- Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego (FAO, 2007).
- Ley que crea el programa de riego tecnificado (Ley N° 28585 - MINAGRI, 2016)
- Tecnología de la alfalfa (INIA, 2000)

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

La población en estudio está formada por la superficie que abarca el Centro Experimental Chuquibambilla, abarcando 300 hectáreas, para el cálculo de la energía fotovoltaica aplicada en un sistema de riego por aspersión.



### **3.4.2 Muestra**

La muestra en estudio está personificada por una parte de la población; siendo un muestreo no probabilístico por conveniencia; es por ello que la muestra está representada por 1.80 hectáreas del total de área que abarca el Centro Experimental Chuquibambilla de la Universidad Nacional del Altiplano Puno; para el cálculo de la energía fotovoltaica aplicada en un sistema de riego por aspersión.

## **3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

En el sentido de cumplir con los objetivos específicos en el presente estudio: se recabo toda la información requerida, de tesis, libros, artículos científicos, páginas web, y datos de estaciones meteorológicas – SENAMHI, entre otros.

### **3.5.1 Estimación de la oferta de agua del manantial “Pujio” para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla**

Se evaluó la disponibilidad hídrica del manantial ubicado en el sector de Buena Vista, denominando manantial “Pujio”, mediante el aforo por el método de prueba de bombeo; con 5 repeticiones para la obtención de datos más precisos del caudal; el cual consiste en la medición del área del pozo y la velocidad del desplazamiento del agua luego de realizar el proceso de bombeo; todo ello realizado en temporadas de avenida y estiaje en el año 2021; realizado mediante el empleo de la siguiente ecuación.



$$Q = A_p * V_d \quad (\text{Ec. 1})$$

**Donde:**

$Q$  : Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A_p$  : Área del pozo ( $\text{m}^2$ )

$V_d$  : Velocidad de desplazamiento del agua ( $\text{m/s}$ )

$$V_d = \frac{D}{T} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

**Donde:**

$V_d$ : Velocidad de desplazamiento del agua ( $\text{m/s}$ )

$D$  : Distancia de desplazamiento ( $\text{m}$ )

$T$  : Tiempo de desplazamiento ( $\text{s}$ )

### **3.5.2 Cálculo agronómico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.**

Para el cumplimiento del presente objetivo se siguieron las consideraciones descritas por la ley que crea el programa de riego tecnificado (Ley N° 28585 - MINAGRI, 2016); así como también las consideraciones establecidas del manual de inspección y revisión de sistemas fotovoltaicos (Comisión Nacional de Riego, 2018); para el cálculo de los módulos solares fotovoltaicos.

#### **3.5.2.1 Evapotranspiración del cultivo**

La evapotranspiración de los cultivos es la necesidad de agua de los cultivos calculada mediante la siguiente ecuación. Se calcula utilizando la evapotranspiración referencial y el coeficiente de cultivo:



$$Etc = ETo * Kc \quad (\text{Ec. 2})$$

**Donde:**

***Etc*** : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

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

***Kc*** : Coeficiente único de cultivo (Alfalfa  $Kc=1$  según (Palomino, 2016))

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se utilizó la metodología de Penman-Monteith, ya que se sugiere como el único enfoque modelo para definir y calcular la evapotranspiración de referencia de los cultivos ETo; empleando la ecuación siguiente.

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu 2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1+0.34\mu 2)} \quad (\text{Ec. 3})$$

**Donde:**

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

**Rn** : Radiación neta en la superficie del cultivo ( $MJ/m^2/día$ )

**G** : Flujo de calor del suelo ( $MJ/m^2/día$ )

**T** : Temperatura media del aire a dos metros de altura ( $^{\circ}C$ )

**$\mu 2$**  : Velocidad del viento a dos metros de altura (m/s)

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

***en*** : Presión real de vapor (kPa)

**$\Delta$**  : Pendiente de la curva de presión de vapor ( $kPa/^{\circ}C$ ) y

**$\gamma$**  : Constante psicrométrica ( $kPa/^{\circ}C$ ).

### 3.5.2.2 Lamina neta de riego (Ln)

Según Jara y Ramos (2018), se procede mediante la siguiente ecuación:

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

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

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

**h** : Altura de la raíz (m)

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

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

**Tabla 5.** 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 arenoso	16	7	1.42
Franco	31	13	1.58
Franco arcilloso	41	17	1.58
Arcilloso	48	19	2.23

**Fuente:** (Ramos & Luna, 2014).

### 3.5.2.3 Lamina bruta de riego (Lb)

Con este dato se ajusta la lámina de riego (Ln), que considera las pérdidas del sistema mediante la siguiente ecuación:



$$Lb = Ln/Ef \quad (\text{Ec. 5})$$

**Donde:**

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

***Ef*** : Eficiencia de riego (para los sistemas de riego por aspersión se ha establecido un valor del 100% de eficiencia (Jara & Ramos, 2018).

#### 3.5.2.4 Intervalo o frecuencia de riego

La frecuencia de riego personifica el máximo momento entre 2 riegos sucesivos, se determina mediante la ecuación:

$$I = Ln/ETc \quad (\text{Ec. 6})$$

**Donde:**

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

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

#### 3.5.2.5 Tiempo de riego (T)

Según Jara y Ramos (2018), para maniobrar el sistema se necesita establecer el tiempo preciso para usar la lámina bruta de riego (*Lb*) y se efectúa mediante la ecuación:

$$Tr = \frac{Lb}{Pms} \quad (\text{Ec. 7})$$

**Donde:**

***Lb*** : Lamina bruta de riego (mm)

***Ia*** : Pluviometría del sistema (mm/hora)



### 3.5.2.6 Demanda de agua requerida para el cultivo (Alfalfa)

A partir de este valor se obtiene el volumen necesario de almacenamiento de agua para riego, determinado en la siguiente ecuación:

$$Da = A * Lb \quad (\text{Ec. 8})$$

**Donde:**

**A** : Área de riego (m<sup>2</sup>)

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

### 3.5.2.7 Caudal necesario para el sistema de riego

El caudal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{D}{T} \quad (\text{Ec. 9})$$

**Donde:**

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

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

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

Este valor personifica el caudal requerido para abastecer el área en estudio de cultivo de alfalfa y a partir de ello se realizaría el cálculo hidráulico.

### 3.5.2.8 Programación de turnos de riego

Para la programación de turnos de riego se hará uso de válvulas de control en cada línea de riego; consistiendo en la irrigación de la primera línea de riego para posteriormente irrigar la segunda línea de riego; y así





consecutivamente hasta abarcar todo el sistema; todo ello para el abastecimiento de agua según los requerimientos del cultivo.

### **3.5.3 Cálculo hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.**

El cálculo hidráulico del sistema de riego, para el área en estudio presenta los siguientes parámetros: captación, línea de succión, sistema de bombeo fotovoltaico, línea de impulsión, reservorio, y línea de distribución, calculadas según el siguiente procedimiento.

#### **3.5.3.1 Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión.**

El dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión se realizó mediante la siguiente expresión:

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb} \quad (\text{Ec. 10})$$

**Donde:**

***D*** : Diámetro de tubería (pulgadas)

***X*** : Horas de bombeo de agua

***Qb*** : Caudal de bombeo

#### **a) Cálculo del caudal de bombeo**

$$Qb = \frac{Vta}{T} \quad (\text{Ec. 11})$$

**Donde:**

***Vta*** : Volumen del tanque (ítem 3.6.8)

***T*** : Tiempo (horas)

### 3.5.3.2 Cálculo del diámetro de la tubería de succión.

El diámetro de la succión siempre será superior al diámetro de impulsión, es por ello que se asumió un diámetro superior obtenido al diámetro de succión.

### 3.5.3.3 Cálculo de la potencia de la bomba

La expresión para el cálculo de la potencia se efectuó de la siguiente manera:

$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta} \quad (\text{Ec. 12})$$

**Donde:**

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

***Qb*** : Caudal de bombeo

***HDT*** : Altura hidrodinámica total

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

#### a) Cálculo de la altura hidrodinámica total

La altura hidrodinámica total se desarrolló mediante la siguiente expresión.

$$HDT = Hs + Hi + \Sigma hfs + \Sigma hfi + \frac{V^2}{2g} + Ps \quad (\text{Ec. 13})$$

**Donde:**

***HDT*** : Altura hidrodinámica total

***Hs*** : Altura de la tubería de succión

***Hi*** : Altura de la tubería de impulsión

**$\Sigma hfs$**  : Perdida de carga de la tubería de succión

**$\Sigma hfi$**  : Perdida de carga de la tubería de impulsión

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



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

$Ps$  : Presión de salida de agua

**b) Cálculo de las pérdidas de carga de tubería de impulsión y succión.**

Para calcular las pérdidas de carga de tubería de impulsión y succión se empleó la fórmula de Hazen Williams, especificándola a continuación.

$$hfsi = \frac{10.679 * L}{C^{1.852} * D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (\text{Ec. 14})$$

**Donde:**

$hfsi$  : Perdida de carga para tubería de impulsión y sección.

$L$  : Longitud de tubería (m)

$C$  : Coeficiente de rugosidad (PVC = 150)

$D$  : Diámetro de tubería (pulgadas)

$Q$  : Caudal requerido

Asimismo, se añadió las pérdidas de carga por accesorio en el lugar de longitud de tubería, empleando la fórmula de Darcy-Weisbach, descrita a continuación (Waller & Yitayew, 2015).

$$hfa = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 15})$$

**Donde:**

$hfa$  : Perdida de carga por accesorios

$K$  : Constante de accesorio (presente en las especificaciones del material)

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

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

### 3.5.3.4 Cálculo de cantidad de paneles para el funcionamiento de la bomba

Se estimó la cantidad de paneles según la cantidad de Watio pico ( $W_p$ ) que requiere la bomba para funcionar y ( $W_p$ ) que posee el panel, según la siguiente expresión:

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{W_p \text{ bomba}}{W_p \text{ Panel Solar}} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

$W_p \text{ bomba}$  : Cantidad de watio pico requerido por la bomba

$W_p \text{ Panel Solar}$  : Cantidad de watio pico establecido en el panel

### 3.5.3.5 Cálculo de los componentes de la red de distribución

El dimensionamiento y cálculo de los componentes de la red de distribución dependen principalmente del caudal, presión y velocidad requerido por cada aspersor para su funcionamiento, para garantizar el flujo de agua en el punto más crítico para ello se empleó el Software Microsoft Excel y AutoCAD para el cálculo hidráulico.

#### a) Cálculo de la velocidad

Para el cálculo de diámetro de tubería se efectuó mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

$V$  : Velocidad del flujo

$Q$  : Caudal (ítem 3.6.9)



***D*** : Diámetro de tubería (item 3.7.1)

**b) Cálculo de la presión.**

La presión que se tiene que garantizar en cada aspersor debe ser en torno a los 10 – 20 m.c.a., para un radio de alcance de 6 a 10 metros y una variación de caudal de 1000 a 1500 l/h.

**3.5.4 Estimación del presupuesto requerido para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.**

Con los resultados del diseño hidráulico del sistema se presupuestó el costo monetario que conllevará la ejecución del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ESTIMACIÓN DE LA OFERTA DE AGUA DEL MANANTIAL “PUJIO” PARA ABASTECER AL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA

En relación al objetivo 1; Estimar la oferta de agua del manantial “Pujio” para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla, se realizó la estimación de la oferta respectivamente en el manantial denominado “Pujio” ubicado en las coordenadas UTM: 314101.00 m E y 8369800.00 m S.

En la Tabla 6, se aprecia el caudal obtenido mediante el aforo de agua por el método de prueba de bombeo en temporada de estiaje, encontrando un caudal de 0.00188 m<sup>3</sup>/s (1.88 l/s), siendo este dato la oferta de agua del manantial, caudal que fue aforado en el mes de junio (temporada de estiaje) del año 2021.

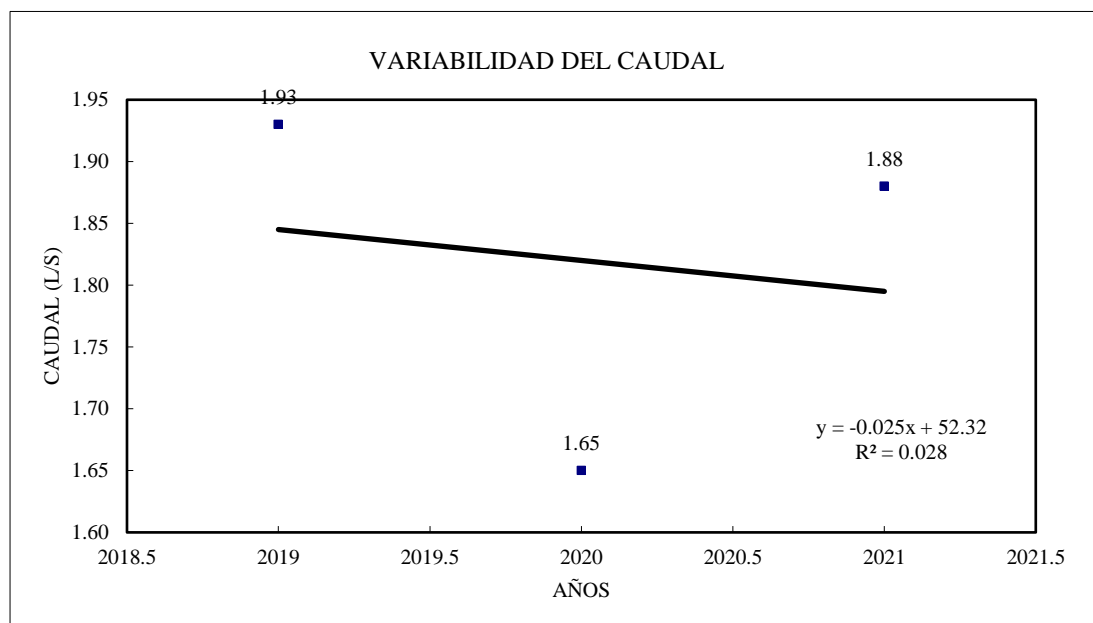
**Tabla 6.** Cálculo del caudal de agua en temporada de estiaje

Prueba	Velocidad de desplazamiento			Caudal		
	Distancia (D)	Tiempo (T)	Velocidad (Vd)	Área del pozo	Caudal de aforo	Caudal asumido
	m	S	m/s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	0.022	300	7.46E-05	24.36	0.0018	
2	0.023	300	7.75E-05	24.36	0.0019	
3	0.023	300	7.53E-05	24.36	0.0018	<b>0.00188</b>
4	0.024	300	7.97E-05	24.36	0.0019	
5	0.024	300	7.96E-05	24.36	0.0019	

**Fuente:** Elaboración propia

Además de ello según los reportes de la estación Chuquibambilla (2022); mencionan que se presentan una oferta hídrica de 1.93 l/s para el año 2019; así mismo 1.65 l/s para el 2020; en temporada de estiaje; todo ello especificado en la figura 10, de variación del caudal durante los últimos años.

En la figura 10, se aprecia la variabilidad de la oferta hídrica en el manantial denominado “Pujio” del Centro Experimental Chuquibambilla durante los años de 2019, 2020 y 2021 en temporada de estiaje; indicando que existe una tendencia de disminución de la oferta hídrica a una razón de -0.025% de manera anual.



**Figura 10.** Variabilidad del caudal-temporada de estiaje

**Fuente:** Elaboración propia

Recalcando que esta disminución del caudal con el pasar de los años en temporada de estiaje; se debe al aumento de la temperatura y los cambios inducidos por el cambio climático.

En la Tabla 7, se aprecia el caudal obtenido mediante el aforo de agua por el método de prueba de bombeo en temporada de avenida, encontrando un caudal de

0.00234 m<sup>3</sup>/s 2.34 l/s, siendo este dato la oferta de agua del manantial, caudal que fue aforado en el mes de diciembre del año 2021.

**Tabla 7.** Cálculo del caudal de agua en temporada de avenida

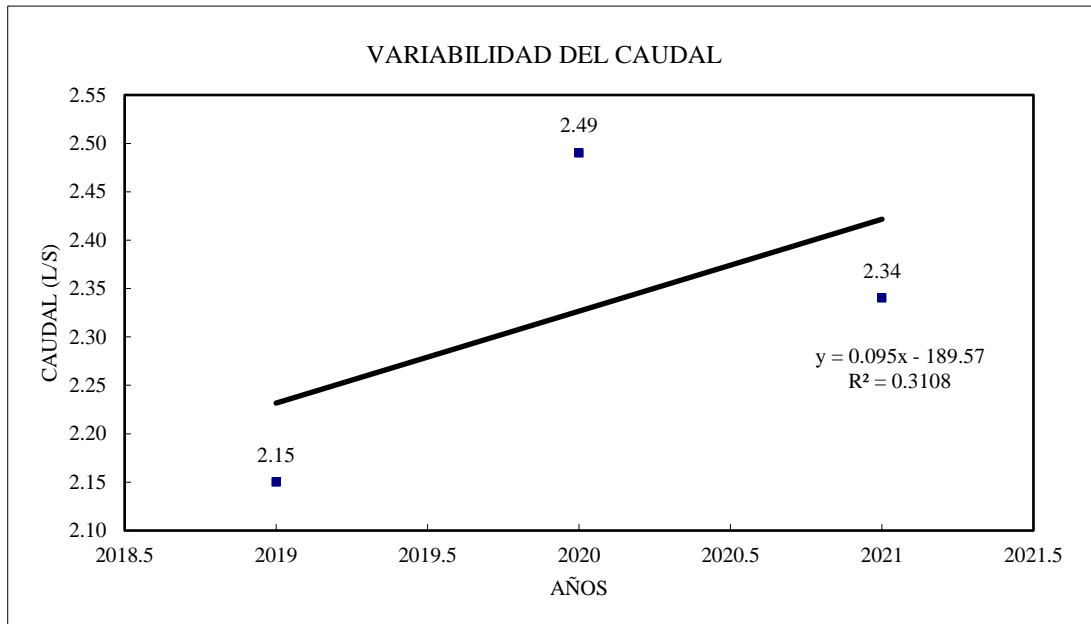
Prueba	Velocidad de desplazamiento			Caudal		
	Distancia (D)	Tiempo (T)	Velocidad (Vd)	Área del pozo	Caudal de aforo	Caudal asumido
	M	S	m/s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	0.029	300	9.55E-05	24.36	0.0023	
2	0.029	300	9.89E-05	24.36	0.0024	
3	0.028	300	9.51E-05	24.36	0.0023	<b>0.00234</b>
4	0.027	300	9.18E-05	24.36	0.0022	
5	0.030	300	9.90E-05	24.36	0.0024	

**Fuente:** Elaboración propia

Así también según los reportes de la estación Chuquibambilla (2022); mencionan que se presentan una oferta hídrica de 2.15 l/s para el año 2019; así mismo 2.49 l/s para el 2020; para la temporada de avenida; todo ello especificado en la figura 11, de variación del caudal durante los últimos años.

En la figura 11. se aprecia la variabilidad de la oferta hídrica en el manantial denominado “Pujio” del Centro Experimental Chuquibambilla durante los años de 2019, 2020 y 2021 en temporada de avenida; indicando que existe una tendencia de aumento de la oferta hídrica a una razón de +0.095% de manera anual.





**Figura 11.** Variabilidad del caudal-temporada de avenida

**Fuente:** Elaboración propia

Especificando que dicho aumento se refiere; debido a que año tras año las precipitaciones tienden a ser más intensos; todo ello según los reportes del SENAMHI (2022), para el área en estudio; siendo la principal causal el cambio climático.

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “La estimación de la oferta de agua del manantial “Pujio” es variada durante las diferentes temporadas del año para abastecer al sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa en el Centro Experimental Chuquibambilla”. se acepta la hipótesis, puesto que el caudal aforado entre las temporadas de avenida y estiaje son diferentes.

Los resultados obtenidos de la oferta de agua con respecto a Palomino (2016), quien calculó una oferta de agua de 2.33 l/s, de un manantial en temporada de avenida; así mismo Maquera (2014), menciona una oferta de agua para 2 ojos de agua nombrados Toqueraya I y Toqueraya II con una oferta de 2.45 y 2.86 l/s respectivamente, con total del caudal favorable 5.31 l/s en temporada de avenida; de igual forma Heredia y Sánchez (2018), encontró una oferta de agua de 6.244 l/s, aforado en el mes de diciembre; dichos

datos son superiores con respecto al presente trabajo de investigación esto debido a que los manantiales se encuentran en diferentes zonas geográficas con diferentes rendimientos; por ello existe una variabilidad de caudales.

## 4.2 CÁLCULO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA, ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA

En relación al objetivo específico 2; realizar el cálculo agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa, alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla, se obtuvieron los siguientes resultados.

### 4.2.1 Cálculo agronómico

#### 4.2.1.1 Evapotranspiración del cultivo

$$Etc = ETo * Kc \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

**Etc** : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

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

**Kc** : Coeficiente único de cultivo (Alfalfa  $Kc=1$  según (Palomino, 2016))

Para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo de referencia se usó el método de Penman-Monteith; empleando la siguiente ecuación.

$$Eto = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu_2 (es-ea)}{\Delta + \gamma(1+0.34\mu_2)} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:



- ET<sub>o</sub>** : Evapotranspiración de referencia (*mm/día*)
- R<sub>n</sub>** : Radiación neta en la superficie del cultivo (*MJ/m<sup>2</sup>/día*)
- G** : Flujo de calor del suelo (*MJ/m<sup>2</sup>/día*)
- T** : Temperatura media del aire a dos metros de altura (°C)
- u<sub>2</sub>** : Velocidad del viento a dos metros de altura (m/s)
- e<sub>s</sub>** : Presión de vapor de saturación (kPa).
- e<sub>n</sub>** : Presión real de vapor (kPa)
- Δ** : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C) y
- γ** : es la constante psicrométrica (kPa/°C).

En la Tabla 8, se aprecia el cálculo de la evapotranspiración de referencia de cultivo de alfalfa (ET<sub>o</sub>) por el método de Penman-Monteith, indicando que el mes de enero presento 2.56 mm/día de ET<sub>o</sub> (siendo este dato el valor más alto de todo los meses del año), febrero 2.37 mm/día de ET<sub>o</sub>, marzo 2.24 mm/día de ET<sub>o</sub>, abril 2.13 mm/día de ET<sub>o</sub>, mayo 2.15 mm/día de ET<sub>o</sub>, junio 1.94 mm/día de ET<sub>o</sub>, julio 2.01 mm/día de ET<sub>o</sub>, agosto 2.15 mm/día de ET<sub>o</sub>, septiembre 2.33 mm/día de ET<sub>o</sub>, octubre 2.38 mm/día de ET<sub>o</sub>, noviembre con 2.49 mm/día de ET<sub>o</sub>; y el mes de diciembre con 2.48 mm/día de ET<sub>o</sub>.

**Tabla 8.** Cálculo de la evapotranspiración de referencia del cultivo de alfalfa

Símbolo	Parámetros 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)	3.13	2.89	2.99	2.90	2.88	3.13	3.21	3.60	3.62	3.62	3.56	3.11
$\gamma$	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
$\lambda$	Pendiente de la curva de Presión de vapor (kPa/°C)	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
$e_s$	Presión de vapor de saturación (kPa)	1.48	1.44	1.39	1.38	1.30	1.10	1.02	1.17	1.32	1.24	1.37	1.31
$e_a$	Presión real de vapor (kPa)	1.14	1.16	1.12	1.15	1.06	0.88	0.79	0.94	1.07	0.97	1.05	0.99
$R_n$	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m <sup>2</sup> /día)	8.74	8.22	7.74	7.67	7.88	7.36	8.20	9.26	9.42	9.08	8.95	8.50
$G$	Flujo de calor del suelo (MJ/m <sup>2</sup> /día)	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 2 m 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>Evapotranspiración promedio diaria</b>		<b>2.56</b>	<b>2.37</b>	<b>2.24</b>	<b>2.13</b>	<b>2.15</b>	<b>1.94</b>	<b>2.01</b>	<b>2.15</b>	<b>2.33</b>	<b>2.38</b>	<b>2.49</b>	<b>2.48</b>

**Fuente:** Elaboración basado en el método de Penman-Monteith

Para cuestiones de cálculo hidráulico se asume el mes que tuvo mayor evapotranspiración de referencia; en este caso se asume el mes de enero  **$ET_o = 2.56$  mm/día.**

Con respecto a los datos hallados en la Tabla 8, se elaboró mediante la **radiación solar extraterrestre  $R_a$  e insolación máxima diaria (n)**, dichos datos fueron tomados en acuerdo al libro del cálculo de la evapotranspiración de cultivo (2022); tal tabla esta especificada en el **Anexo 3 y Anexo 4.**

**Reemplazando en la Ec. 1:**

$$ET_c = 2.56 * 1.00$$

$$ET_c = 2.56 \text{ mm/día}$$

La evapotranspiración de cultivo de alfalfa es de **2.56 mm/día.**

Estos resultados con respecto a los resultados de Jara y Ramos (2018), los cuales calcularon la evapotranspiración del cultivo de alfalfa con un valor de 4.56 mm/día. Para el mes noviembre donde ocurrió la mayor evapotranspiración, de igual forma Palomino (2016), obtuvo un valor de evapotranspiración de cultivo de alfalfa de 4.41 mm/día y finalmente estos resultados con respecto al estudio de Maquera (2014), el cual calculo una evapotranspiración de cultivo de alfalfa de 3.48 mm/día para el mes de mayor evapotranspiración siendo el mes de octubre; todo ello es diferente por las condiciones climáticas de cada zona; tanto por la temperatura, humedad, radiación, insolación de la zona, y también por los valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) entre otros datos específicamente.

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

Ahora se estima la lámina neta de riego mediante la siguiente ecuación:

$$L_n = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da \quad (\text{Ec. 3})$$

**Donde:**

**CC** : Capacidad de campo (%) – Tabla 5

**PMP** : Punto de marchitez permanente (%) – Tabla 5

**h** : Altura de la raíz (m)

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

**da** : Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) – Tabla 5

**Reemplazando en la Ec. 3:**

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

$$L_n = \frac{41 - 17}{100} * 0.15 * 25 * 1.58$$

$$L_n = 1.42 \text{ mm/día}$$

La humedad suficiente para la subsistencia del cultivo de alfalfa es de **1.42 mm/día**.

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

Según Jara y Ramos (2018), se ha establecido el valor de  $E_f=100\%$  para el sistema de riego por aspersión.

$$L_b = \frac{L_n}{E_f} \quad (\text{Ec. 4})$$

**Donde:**

**$L_n$**  : Lámina neta de riego (mm)

**$E_f$**  : Eficiencia de riego (100%)



**Reemplazando en la Ec. 4:**

$$Lb = \frac{1.42}{100}$$

$$Lb = 1.42 \text{ mm/día}$$

Este será el valor de la lámina de agua que se aplicará al suelo mediante riego por aspersión a fin de restituir la capacidad de campo del mismo.

#### **4.2.1.4 Intervalo o frecuencia de riego**

La frecuencia de riego se define como el mayor intervalo de tiempo de dos riegos consecutivos y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$I = Ln/ETc \quad (\text{Ec. 5})$$

**Donde:**

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

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

**Reemplazando en la Ec. 5:**

$$I = \frac{1.42}{2.56}$$

$$I = 0.56 \text{ días}$$

#### **4.2.1.5 Tiempo de riego (Tr)**

Para poner en marcha el sistema, primero debemos determinar el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (Lb), que se expresa en horas mediante la siguiente ecuación:



$$Tr = \frac{Lb}{Pms} \quad (\text{Ec. 6})$$

**Donde:**

***Lb*** : Lamina bruta de riego (mm/día)

***Ia*** : Pluviometría del sistema (mm/hora)

**Reemplazando en la Ec. 6:**

$$Tr = \frac{1.42}{10}$$

$$Tr = 0.14 \text{ horas}$$

Se asume un tiempo estimado 0.14 horas equivalente a 14 minutos de riego por aspersión para el área en estudio por cada línea de riego.

#### **4.2.1.6 Demanda de agua requerida para el cultivo (Alfalfa)**

A partir de este valor se obtiene el volumen necesario de almacenamiento de agua para riego, determinado en la siguiente ecuación.

$$Da = A * Lb \quad (\text{Ec. 7})$$

**Donde:**

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

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

**Reemplazando en la Ec. 7:**

$$Da = 18000 * 1.42$$

$$Da = 25.60 \text{ m}^3$$





Como resultado del trabajo el cálculo de la demanda de agua requerida para el cultivo de alfalfa para el área en estudio de 18000 m<sup>2</sup> (1.80 ha), es de **25.60 m<sup>3</sup>** de agua por día.

Estos resultados con respecto a Palomino (2016), quien calculo una demanda de agua para una hectárea de cultivo de alfalfa de 15.2 m<sup>3</sup>/día; mientras que Maquera (2014), calculo una demanda de agua para dos hectáreas de cultivo de alfalfa por aspersión de 38.79 m<sup>3</sup>/día; todo ello son diferentes al presente trabajo de investigación esto debido a que estos resultados dependen de las condiciones climáticas de cada zona y área de cultivo.

#### **4.2.1.7 Caudal necesario para el sistema de riego**

Finalmente se calcula el caudal para el cálculo hidráulico, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{D}{T} \quad (\text{Ec. 8})$$

**Donde:**

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

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

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

**Reemplazando en la Ec. 8:**

$$Q = \frac{25.6}{0.14}$$

$$Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal necesario para abastecer el área en estudio de cultivo de alfalfa es de 0.05 m<sup>3</sup>/s y a partir de ello se realizará el cálculo hidráulico.

#### 4.2.1.8 Programación de turnos de riego

Primeramente, se irrigará la primera línea de riego; posterior a ello la segunda línea de riego y así consecutivamente hasta llegar a la última línea de riego, contando así un total de 8 turnos de riego en el área en estudio.

#### 4.2.2 Cálculo hidráulico

##### 4.2.2.1 Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión

El cálculo del diámetro de la tubería de impulsión se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb} \quad (\text{Ec. 9})$$

**Donde:**

***D*** : Diámetro de tubería (pulgadas)

***X*** : Horas de bombeo de agua (asumido 5 horas)

***Qb*** : Caudal de bombeo

##### a) Cálculo del caudal de bombeo

$$Qb = \frac{Vta}{T} \quad (\text{Ec. 10})$$

**Donde:**

***Vta*** : Volumen del tanque (Según demanda de agua)

***T*** : Tiempo (horas)

$$Qb = \frac{30}{5}$$

$$Qb = 0.00167 \text{ m}^3/\text{s}$$



**Reemplazando en la Ec. 9:**

$$D = 1.3 * \frac{5^{\frac{1}{4}}}{24} * \sqrt{0.00167}$$

$$D = 1.41 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Diametro asumido de tub. de impulsión} = 1.5''$$

#### 4.2.2.2 Cálculo del diámetro de la tubería 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:

$$\text{Diametro de tub. de succión} = 2''$$

#### 4.2.2.3 Cálculo de la potencia de la bomba

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

$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta} \quad (\text{Ec. 11})$$

**Donde:**

***Pb*** : Potencia de la bomba

***Qb*** : Caudal de bombeo

***HDT*** : Altura hidrodinámica total

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

#### a) Cálculo de la altura hidrodinámica total

La altura hidrodinámica total se desarrolló mediante la siguiente ecuación.



$$HDT = Hs + Hi + \Sigma hfs + \Sigma hfi + \frac{v^2}{2g} + Ps \quad (\text{Ec. 12})$$

**Donde:**

***HDT*** : Altura hidrodinámica total

***Hs*** : Altura de la tubería de succión

***Hi*** : Altura de la tubería de impulsión

**$\Sigma hfs$**  : Perdida de carga de la tubería de succión

**$\Sigma hfi$**  : Perdida de carga de la tubería de impulsión

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

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

***Ps*** : Presión de salida de agua

**b) Cálculo de la velocidad:**

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D} \quad (\text{Ec. 13})$$

**Reemplazando en la Ec.13**

$$V = \frac{4 \cdot 0.00167}{\pi \cdot (1.5'' \cdot 0.0254)}$$

$$V = 0.06 \text{ m/s}$$

**c) Cálculo de las pérdidas de carga de tubería de succión**

Para el cálculo de las pérdidas de carga de tubería de succión se empleó la fórmula de Hazen Williams, especificándola a continuación:

$$hfs = \frac{10.679 \cdot L}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}} \cdot Q^{1.852} \quad (\text{Ec. 14})$$

**Donde:**

***hfsi*** : Perdida de carga para tubería de impulsión y sección.



- L** : Longitud de tubería (m)
- C** : Coeficiente de rugosidad (PVC = 150)
- D** : Diámetro de tubería (pulgadas)
- Q** : Caudal requerido

Asimismo, se añadió las pérdidas de carga por accesorio en el punto de longitud de tubería, empleando la fórmula de Darcy-Weisbach, descrita a continuación.

$$hfa = K \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 15})$$

**Donde:**

- hfa** : Perdida de carga por accesorios
- K** : Constante de accesorio (presente en las especificaciones del material)
- V** : Velocidad del flujo de agua (m/s)
- g** : Gravedad de la tierra (9.81 m/s<sup>2</sup>)

A continuación, en la tabla 4 se mencionan los accesorios a emplear en la línea de succión.

En la Tabla 9, se aprecia los accesorios a emplear en la línea de succión con su respectivo coeficiente de fricción (*K*); indicando que la válvula de pie presento un *K*, de 2.0 y el codo de 90° presento un *K*; 0.75; todo ello recabado de la base de datos de los accesorios de la empresa Plastisur.

**Tabla 9.** Coeficiente de fricción de accesorios de la tubería de succión

N°	Accesorios	K
1	Válvula de pie	2.0
2	Codos de 90	0.75

**Fuente:** (Plastisur, 2021).

En la Tabla 10, se aprecia la pérdida de carga de los accesorios mencionados en la tabla 9; indicando que la válvula de pie presenta una pérdida de carga de 0.02349 m; además el codo de 90° presenta una pérdida de carga 0.00881 m.

**Tabla 10.** Cálculo de la pérdida de carga por accesorios.

N°	Accesorios	Cantidad de accesorios en la tubería de succión	K	total	Velocidad de flujo (m/s), para un diámetro de 2"	$hf = K \frac{v^2}{2g}$
1	válvula pie	1	2	2	0.48	0.02349
2	codos de 90°	3	0.75	2.25	0.48	0.00881

**Fuente:** Elaboración propia

La tubería a emplearse será de PVC (C-150) para una longitud estimada desde el punto la captación hasta la bomba estará comprendida **de 5 metros**.

**Reemplazando en la ec. 14:**

$$hfs = \frac{10.679 * (5 + 0.02349 + 0.00881)}{150^{1.852} * 0.48^{4.87}} * 0.00167^{1.852}$$

$$hfs = 1.28 \times 10^{-6} \text{ mca}$$

**d) Cálculo de las pérdidas de carga de tubería de impulsión**

Para ello se empleó la fórmula de Hazen Williams, especificándola a continuación.

$$hfi = \frac{10.679 * L}{C^{1.852} * D^{4.87}} * Q^{1.852} \quad (\text{Ec. 16})$$

Asimismo, se añadió las pérdidas de carga por accesorio en el punto de longitud de tubería, empleando la fórmula de Darcy-Weisbach, descrita a continuación.

$$hfa = K \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 17})$$

A continuación, se mencionan los accesorios a emplear en la línea de succión.

En la Tabla 11, se aprecia los accesorios a emplear en la línea de impulsión con su respectivo coeficiente de fricción ( $K$ ); indicando que la unión simple presentó un  $K$  de 0.40 y el codo de 90° presentó un  $K$  de 0.75; todo ello recabado de la base de datos de los accesorios de la empresa Plastisur.

**Tabla 11.** Coeficiente de fricción de accesorios de la tubería de impulsión

Nº	Accesorios	$K$
1	Unión simple	0.40
2	codos de 90°	0.75

**Fuente:** (Plastisur, 2021).

En la Tabla 12, se aprecia la pérdida de carga de los accesorios mencionados en la tabla 11; indicando que la unión simple, presenta una pérdida de carga de 0.1550 m; además el codo de 90° presenta una pérdida de carga 0.0440 m.

**Tabla 12.** Cálculo de la pérdida de carga por accesorios

Nº	Accesorios	Cantidad de accesorios en la tubería de succión	$K$	total	Velocidad de flujo (m/s), para un diámetro de 1.5"	$hf = \frac{KV^2}{2g}$
1	Unión simple	33	0.40	13.2	0.48	0.1550
2	codos de 90°	5	0.75	3.75	0.48	0.0440

**Fuente:** Elaboración propia

La tubería a emplearse será de PVC (C-150) para una longitud estimada desde el punto la captación hasta la bomba estará comprendida de 160 metros.



**Reemplazando en la Ec. 16:**

$$hfi = \frac{10.679 * (163.7 + 0.1550 + 0.0440)}{150^{1.852} * 0.381^{4.87}} * 0.00167^{1.852}$$

$$hfs = 1.28 \times 10^{-4}$$

**Reemplazando los datos hallados en la Ec. 12:**

$$HDT = 2 + 32.14 + 1.28 \times 10^{-6} + 1.28 \times 10^{-4} + \frac{0.033^2}{2 * 9.81}$$

$$**HDT = 34.15 mca**$$

**Reemplazando los datos hallados en la Ec. 11:**

$$Pb = \frac{1000 * 0.00167 * 34.15}{75 * 0.9}$$

$$**Pb = 0.84 hp**$$

$$**Potencia de la bomba asumida = 1 hp**$$

La potencia de la bomba es de 1 hp (**Anexo 10**)

#### **4.2.2.4 Cálculo del módulo solar fotovoltaico**

##### **a) Cálculo de la radiación solar del área en estudio**

Para el cálculo de la radiación solar se siguieron los procedimientos descritos por el libro de Luque (2002), "Photovoltaic Science and Engineering ingeniería y ciencia fotovoltaica; presentando los siguientes resultados:

##### **a.1. Cálculo de la declinación solar**

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





**Donde:**

$d_n$ : Días del año = 270 días (día de baja nubosidad)

= 30 días (día de alta nubosidad)

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

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

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

$$\delta = 23.45^\circ * \text{sen} \left( \frac{360(270+284)}{365} \right)$$

$$\delta = 23.45^\circ * \text{sen} \left( \frac{360(30+284)}{365} \right)$$

$$\delta = -2.61^\circ$$

$$\delta = -18.04^\circ$$

La declinación solar en temporada de baja nubosidad es de  $-2.61^\circ$  y en temporada de alta nubosidad es de  $-18.04^\circ$ .

## a.2. Cálculo del ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal

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

**Donde:**

$\delta$ : Ángulo de declinación solar

$\emptyset$ : Latitud del área en estudio ( $14.7392^\circ$ )

• Dia con baja nubosidad

Dia con alta nubosidad

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(-2.61) * \tan(14.74))$$

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(-18.04) * \tan(14.74))$$

$$\omega_s = -89.31^\circ$$

$$\omega_s = -85.08^\circ$$







### a.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>)

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$K_{Tm} = \frac{1861}{19779.4}$$

$$K_{Tm} = \frac{1861}{8579.38}$$

$$K_{Tm} = 0.09 \text{ Wh/m}^2$$

$$K_{Tm} = 0.21 \text{ Wh/m}^2$$

El índice de claridad en temporada de baja nubosidad es de 0.09 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 0.21 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

### a.7. Cálculo de la fracción difusa

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

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 * 0.09$$

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 * 0.21$$

$$F_{Dm} = 0.89 \text{ Wh/m}^2$$

$$F_{Dm} = 0.75 \text{ Wh/m}^2$$

La fracción difusa en temporada de baja nubosidad es de 0.89 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 0.75 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

### a.8. Cálculo de la radiación difusa sobre un plano horizontal

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

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad



$$D_0 = 0.89 * 1861$$

$$D_0 = 0.75 * 1861$$

$$D_0 = 1663.17 \text{ Wh/m}^2$$

$$D_0 = 1404.86 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación difusa sobre un plano horizontal en temporada de baja nubosidad es de 1663.17 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 1404.86 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

#### a.9. Cálculo de la radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal

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

- Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$H_{dm} = 1861 - 1663.17$$

$$H_{dm} = 1861 - 1404.86$$

$$H_{dm} = 197.82 \text{ Wh/m}^2$$

$$H_{dm} = 456.13 \text{ Wh/m}^2$$

La irradiación directa que cae sobre un panel solar horizontal en temporada de baja nubosidad es de 197.82 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 456.13 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

#### a.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)

- Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$H_{(\beta,\alpha)} = 197.82 * 2.74$$

$$H_{(\beta,\alpha)} = 456.13 * 2.74$$

$$H_{(\beta,\alpha)} = 542.03 \text{ Wh/m}^2$$

$$H_{(\beta,\alpha)} = 649.79 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar directa sobre un panel solar inclinado en temporada de baja nubosidad es de 542.03 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 649.79 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

#### a.11. Cálculo de la radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado

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

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$D_{(\beta,\alpha)} = 1663.17 * \left( \frac{1 + \cos(29.24)}{2} \right)$$

$$D_{(\beta,\alpha)} = 1404.86 * \left( \frac{1 + \cos(29.24)}{2} \right)$$

$$D_{(\beta,\alpha)} = 1557.21 \text{ Wh/m}^2$$

$$D_{(\beta,\alpha)} = 1315.36 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado en temporada de baja nubosidad es de 1557.21 Wh/m<sup>2</sup> y en temporada de alta nubosidad es de 1315.36 Wh/m<sup>2</sup>, en el área en estudio.

#### a.12. Cálculo de la radiación solar Albedo sobre un panel solar inclinado

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

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 0.2 * 1861 * \left( \frac{1 - \cos(29.24)}{2} \right)$$

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 0.2 * 1861 * \left( \frac{1 - \cos(29.24)}{2} \right)$$

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 23.61 \text{ Wh/m}^2$$

$$AL_{(\beta,\alpha)} = 23.61 \text{ Wh/m}^2$$



La radiación solar Albelo sobre un panel solar inclinado en temporada de baja y alta nubosidad es de  $23.61 \text{ Wh/m}^2$ , en el área en estudio.

### a.13. Cálculo de la radiación solar global sobre un panel solar inclinado

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

• Día con baja nubosidad

Día con alta nubosidad

$$R_G = 542.02 + 1557.21 + 23.61$$

$$R_G = 649.79 + 1315.36 + 23.61$$

$$R_G = 2122.85 \text{ Wh/m}^2$$

$$R_G = 1988.76 \text{ Wh/m}^2$$

La radiación solar global sobre un panel solar inclinado en temporada de baja nubosidad ( $2122.85 \text{ Wh/m}^2$ ), siendo superior a la radiación solar global sobre un panel solar inclinado en temporada de alta nubosidad ( $1988.76 \text{ Wh/m}^2$ ).

En la tabla 13, se aprecia la comparación del cálculo de la radiación solar en un día sin y con nubosidad en el área en estudio; indicando que en un día sin nubes presenta una mejor radiación con respecto a la radiación en un día con nubes presenta.

**Tabla 13.** Comparación del cálculo de la radiación solar en un día sin y con nubosidad

Descripción	Sin nubosidad	Con nubosidad
Ángulo de declinación solar	-2.61°	-18.04°
Ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano horizontal	-89.31°	-85.08°
Ángulo de salida del sol al amanecer sobre un plano inclinado	-89.31°	-85.08°
Factor de excentricidad	0.99	1.03
Irradiancia solar extraterrestre sobre un plano horizontal	19779.44 Wh/m <sup>2</sup>	8579.38 Wh/m <sup>2</sup>
Índice de claridad	0.094 Wh/m <sup>2</sup>	0.21 Wh/m <sup>2</sup>
Fracción difusa	0.89 Wh/m <sup>2</sup>	0.75 Wh/m <sup>2</sup>
Radiación difusa sobre un plano horizontal	1663.17 Wh/m <sup>2</sup>	1404.86 Wh/m <sup>2</sup>
Radiación directa que cae sobre un panel solar horizontal	197.82 Wh/m <sup>2</sup>	456.13 Wh/m <sup>2</sup>
radiación solar directa sobre un panel solar inclinado	542.02 Wh/m <sup>2</sup>	649.79 Wh/m <sup>2</sup>
Radiación solar difusa sobre un panel solar inclinado	1557.21 Wh/m <sup>2</sup>	1315.36 Wh/m <sup>2</sup>
Radiación solar albedo sobre un panel solar inclinado	23.61 Wh/m <sup>2</sup>	23.61 Wh/m <sup>2</sup>
<b>Radiación solar global sobre un panel solar inclinado</b>	<b>2122.85 Wh/m<sup>2</sup></b>	<b>1988.76 Wh/m<sup>2</sup></b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Además, dichos resultados comparados con la radiación solar hallada en el portal web Atlas Solar Global (**Anexo 16**); el cual indica que en el área en estudio presenta una radiación solar de **2306.04 kWh/m<sup>2</sup>/día**; presentan características que se asemejan debido a que se halló con los cálculos una radiación de 2122.85 Wh/m<sup>2</sup>/día sin nubes; conllevando a decir que los cálculos fueron realizados con veracidad y exactitud.



## b) Angulo de inclinación

Según Aquino (2017), para determinar el ángulo de inclinación; del módulo solar fotovoltaico se llevará a cabo mediante la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

**L:** Latitud (14.7392 del área en estudio)

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

$$A = 14.7392 - 23.5^{\circ} \text{sen} \left( \frac{363}{365.25} * 360^{\circ} \right)$$

$$A = 15.64^{\circ}$$

El ángulo de inclinación del módulo solar fotovoltaico para el área en estudio será de 15.64°.

## c) Orientación

Según Aquino (2017), la orientación es el ángulo creado por la dirección del meridiano y la perpendicular de la superficie del módulo. Si estamos en el hemisferio norte, el origen de este ángulo se suele creer que está al sur, y si estamos en el hemisferio sur, al norte.

Por ello se contempla la orientación de cada módulo solar fotovoltaico hacia el norte magnético de la tierra para un mejor beneficio de la energía solar.

#### d) **Altura**

Teniendo en cuenta que el ángulo de inclinación es **15.64°**; multiplicado por una altura recomendada de 1570 mm y se añaden 200 mm ara el soporte, los módulos se elevan considerablemente del suelo según Aquino (2017), se aplica la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

**h:** Altura del módulo solar fotovoltaico

**A:** Angulo de inclinación del módulo solar fotovoltaico

$$h = \text{sen}(15.64) * 1570 + 200$$

$$h = 623.26 \text{ mm} = 0.62 \text{ m}$$

La altura en la que estará ubicado cada módulo solar fotovoltaico sobre la superficie terrestre será de 0.62 metros.

#### e) **Distancia**

Según Vargas (2018), explica cómo se utilizan las propiedades del panel para estimar la distancia. La distancia *d*, medida horizontalmente entre filas de módulos de altura *h*, que pueden proyectar sombras sobre la instalación, debe garantizar un mínimo de cuatro horas de sol al mediodía del solsticio de invierno. Esta separación *d* se realiza mediante la siguiente expresión:

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



**Donde:**

***h***: Altura del módulo solar fotovoltaico

***A***: Angulo de inclinación

$$d = \frac{0.62}{\tan(61^\circ - 15.64)}$$

$$d = 0.61 \text{ m}$$

La distancia de cada módulo solar fotovoltaico será de 0.61 m equivalente a 61 cm.

**f) Tensión nominal (cableado)**

Primeramente, se tendrá que calcular la potencia total del generador fotovoltaico; siendo realizada mediante la siguiente expresión dada por Davalos (2019).

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

**Donde:**

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

***E<sub>POT.MAX.DIARIA</sub>***: Potencia máxima diaria (radiación solar 2306.04 Wh/día; según el portal web Atlas Solar Global “**Anexo 16**”).

***HPT***: Hora sol pico (3.71 h/día según el portal web Atlas Solar Global) (**Anexo 16**)

***KT***: Factor para el inversor = **1** (a razón de que la bomba será alimentada a corriente continua)

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

$$P_g = 1.2 \frac{2122.85}{0.9 * 3.71 * 1}$$

$$P_g = 762.92 \text{ Wp}$$

La potencia del generador fotovoltaico u el voltaje nominal es de 762.92 Wp

**Tabla 14.** Datos referenciales para la tensión del en función de la potencia del generador

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

**Fuente:** (Davalos, 2019)

La tensión nominal o referido al cableado de cada módulo solar fotovoltaico será de 12 Voltios.

#### a) Inversor

El inversor tiene la responsabilidad de convertir la energía de la corriente continua en corriente alterna; para poder utilizar la energía en el bombeo a una tensión de 24 v, se requerirá una potencia ente menor o igual a 800 Wp.

#### b) Estructura metálica para soporte

El panel solar fotovoltaico estará sujeto a una estructura construido con acero ASTM según recomienda Aquino (2017), diseñado con dos grados de



libertad (Movimiento horizontal y vertical) para que pueda aprovechar mejor la radiación de la energía solar. La estructura solar estará pintada con pintura martillada para una mayor duración, resistencia a la corrosión y ambiente externo brusco.

### c) Cálculo de la cantidad de paneles solares y potencia fotovoltaica

Se estimó la cantidad de paneles según la cantidad de Watio pico (Wp) que requiere la bomba para funcionar y (Wp) que posee el panel, según la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{Wp \text{ bomba}}{Wp \text{ Panel Solar}} \quad (\text{Ec. 18})$$

**Donde:**

$$1 \text{ HP} = 768 \text{ Wp}$$

En donde la potencia requerida por los paneles deberá alcanzar 768 Wp para emplear una bomba de agua, pero para el óptimo funcionamiento se deberá multiplicar por una constante según la siguiente ecuación:

$$\text{Pot. total} = Wp * 1.6 \quad (\text{Ec. 19})$$

**Reemplazando en la Ec.7**

$$\text{Pot. total} = 768 * 1.6$$

$$\text{Pot. total} = 1228.8 \text{ Wp}$$

El panel a utilizar estará comprendido para una potencia de generación de 50 Wp para cada panel.



### Reemplazando en la Ec. 6

$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{1228.8 \text{ Wp}}{50 \text{ Wp}}$$

$$\text{Cantidad de paneles} = 24.58 \text{ paneles}$$

Asumiendo 25 paneles de generación de 50 Wp de energía para el empleo de la bomba (**Anexo 11**).

Sobre el bombeo solar se debe preferir idóneamente los elementos del sistema de bombeo fotovoltaico (bomba, motor, y panel solar); de igual forma se debe escoger el lugar donde ocurra una mayor incidencia de radiación solar durante el día; escogiendo un área libre para lograr radiación solar desde la mañana hasta el atardecer.

#### d) Cálculo del número de paneles en serie y en paralelo

Para determinar el número de paneles en serie, se calcula mediante la ecuación dada por Davalos (2019), mediante la siguiente expresión:

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

**Donde:**

$N_{p.\text{serie}}$ : Número de paneles en serie

$V_{n.\text{sgen}}$ : Voltaje nominal del sistema de generación (Wp)

$V_{n.p}$ : Voltaje nominal del panel (Wp)

$$N_{p.\text{serie}} = \frac{828.76 \text{ Wp}}{50 \text{ Wp}}$$

$$N_{p.\text{serie}} = 16.47$$



Como resultado se tendrá 16 paneles en serie, así mismo, la cantidad de paneles en paralelo se estima mediante la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

$N_{p.paralelo}$ : Número de paneles en paralelo

$NP$ : Número de paneles

$N_{p.serie}$ : Número de paneles en serie

$$N_{p.paralelo} = \frac{25}{16} = 1.56$$

Como resultado se tendrá 2 paneles en paralelo; por ello se puede decir que el módulo solar estará comprendido por 25 paneles solares (16 paneles en serie y 2 en paralelo)

#### e) Consideraciones del módulo solar fotovoltaico

- El conjunto fotovoltaico debe instalarse de forma permanente lo más cerca posible de la fuente de agua, evitando zonas que puedan inundarse y zonas por las que puedan transitar animales.
- No debe haber obstáculos (árboles u otras estructuras permanentes) que proyecten sombra sobre los edificios a lo largo del día, especialmente entre las 10 y las 15 horas.
- Los módulos solares estarán orientados hacia el sur real. Si se está en el sur magnético, hay que hacer los ajustes necesarios para la declinación magnética del lugar.



- El ángulo del tejado respecto a la horizontal estará dentro de los 15 grados de la latitud del lugar, pero no menos de 5 grados.
- La estructura debe ajustarse cuidadosamente para evitar que la orientación de la disposición se desplace debido a la acción del viento. Se aconseja elegir estructuras que permitan cambiar el ángulo de inclinación en función de la estación del año. Se pueden utilizar seguidores instalados según las instrucciones del fabricante.
- Los conductos eléctricos (si procede) deberán estar conectados de forma segura a la estructura mediante correas o amarres de plástico negro o acero inoxidable.
- Los módulos se fijarán a la estructura con al menos cuatro tornillos de acero inoxidable por módulo.

**f) Consideraciones del sistema de tierra y sistemas de protección contra sabotaje**

- Se prefiere que se conecte el cable negativo del arreglo a tierra (tierra del sistema) si se el arreglo tiene tres o más módulos en serie. Esto no se aplica si el controlador hace la conexión del conductor negativo a tierra internamente, o si el diseño del controlador no permite la conexión a tierra del conductor negativo. Se recomienda consultar con el fabricante del controlador sobre este requisito. Si el sistema no tiene controlador, consulte el fabricante de la bomba. Se recomienda que la conexión a tierra del conductor negativo se haga a la altura del interruptor del arreglo.





- El cable de puesta a tierra de los equipos (en cualquier caso) y del sistema (si se aplica) deberá ser de cobre desnudo o con aislante verde de calibre no menor al calibre del conductor principal del arreglo.
- El cable de conexión a tierra del sistema (si procede) y el cable de conexión a tierra del equipo (en cualquier caso) tendrán un calibre no inferior al del conductor principal del conjunto y serán de cobre desnudo o con aislamiento verde.
- Los diseños con un sistema de protección contra sobretensiones (descargador de sobretensiones) acoplado a los cables del conjunto fotovoltaico y un sistema de puesta a tierra son preferibles para salvaguardar los circuitos electrónicos en lugares con una actividad atmosférica significativa. Se recomienda instalar el descargador de sobretensiones en el armario de distribución del campo.

**g) Consideraciones del soporte y estructura**

- Para el armazón puede utilizarse acero galvanizado o aluminio anodizado. Todos los herrajes deben ser resistentes a la corrosión.
- Se requiere una cimentación de hormigón armado de tamaño adecuado para resistir vientos de hasta 150 km/h.
- Para cualquier aclaración, debe consultarse la normativa de construcción de la entidad correspondiente.

**h) Consideraciones de la bomba y motor**

- Deberán de ser módulos nuevos y de modelo actual.
- Deben ser fabricadas y hechas especialmente para el bombeo fotovoltaico.



- Los componentes de la bomba pueden soportar la corrosión y puede ser sumergible, de superficie, centrífuga o de desplazamiento positivo (de membrana, de pistón o de cilindro).

**i) Consideraciones para el cableado y conexiones eléctricas del arreglo fotovoltaico**

- Todas las conexiones y empalmes deben realizarse dentro de recintos fácilmente accesibles y diseñados para su uso en exteriores, a excepción de los empalmes de cables de bombas sumergibles.
- Todos los empalmes y conexiones deben realizarse en terminales o conectores del tamaño y tipo adecuados para el conductor.
- Se debe incluir un alivio de tensión en cada conexión eléctrica.
- Para aislar el empalme sumergible de la bomba o de los sensores (si procede) debe utilizarse el tubo termo – compresible marino o un encapsulante de resina.
- Utilice cinta eléctrica, correas o nudos resistentes a la corrosión para atar firmemente los cables que desembocan en el pozo (al motor o a los sensores).
- Debe haber 20 cm adicionales de cable en todos los puntos de conexión y empalmes para poder realizar cambios o reparaciones en el futuro.
- Los puntos de entrada de los cables del conjunto en las cajas de conexiones de los módulos, tengan o no conductos, deben estar sellados para evitar la entrada de agua.
- Si es necesario el uso de terminales de cable, deben utilizarse terminales de tipo anillo y engarzarse con abrazaderas diseñadas específicamente para este fin.



- Para evitar daños físicos, los cables que van del control al cabezal del pozo o, si es necesario, al sensor en el tanque, deben colocarse en un conducto no metálico y enterrarse a 30 cm de profundidad.
- El cable sumergible debe estar ampliamente apantallado para evitar daños físicos cuando entre en contacto con el cabezal del pozo.
- Para evitar que el agua y los insectos entren en los armarios eléctricos y las cajas de conexiones, deben sellarse todos los orificios y tapas.

**j) Otras partes y componentes**

- El proveedor debe ofrecer un juego de repuesto del modelo sugerido por el fabricante si se prevé utilizar un motor con escobillas.
- Si se prevé utilizar una bomba de pistón, de cilindro o de diafragma, deberá ofrecerse un nuevo juego de diafragmas o juntas del fabricante.

**k) Comparativo de los resultados hallados con respecto a otros programas**

En la tabla 15. se aprecia la comparación de los datos hallados en el presente estudio con respecto al sitio web Atlas Solar Global; para la potencia fotovoltaica necesaria en el área en estudio; indicando que en el presente estudio se halló una potencia de 1228.8 Wp; para el funcionamiento de la bomba; sin embargo, mediante el portal web Atlas Solar Global (Anexo 16); se ha hallado una potencia de 1932.4 Wp; no variando considerablemente; Así mismo según la plantilla de datos de la Asociación Transfermarkt (Anexo 17); se halló una potencia efectiva del arreglo fotovoltaico para el bombeo de agua de 530 Wp; por ello se puede decir que los datos hallados son variados frente a los diferentes portales de cálculo; sin embargo los resultados hallados en el

presente estudio se asemejan a los datos hallados por el Portal Web Atlas Solar Global; y con ello se puede decir que los datos hallados son verídicos.

**Tabla 15.** Comparación de los datos hallados con respecto al sitio web Atlas Solar Global y la Asociación Transfermarket

<b>Especificaciones</b>	<b>Datos hallados</b>	<b>Portal Web Atlas Solar (Anexo 16)</b>	<b>Asociación Transfermarket (Argentina) - (Anexo 17)</b>
<b>Potencia fotovoltaica</b>	1228.8 Wp	1932.4 Wp	530 Wp

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.2.5 Cálculo de los componentes de la red de distribución

Para certificar el óptimo trabajo del sistema tendrá que considerarse que cada aspersor debe presentar una presión entre 10 – 20 m.c.a., para un radio de alcance de 6 a 10 metros, y una variación de caudal de 1000 a 1500 l/h (NOVARGR, 2020), para el cumplimiento de estas condiciones se aplicó el software Microsoft Excel, y garantizar el funcionamiento óptimo de la línea de distribución.

##### a) Distribución de aspersores

La distribución de aspersores estará en función al radio de alcance que posee el aspersor para el riego de una determinada área, por ello se plantea la utilización de aspersores de marca “Xcel Wobbler” (Anexo 13), para un alcance de 8 metros en promedio en función a su eje.



**Figura 12.** Radio de aspersión por cada aspersor en el área en estudio

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 12. Se aprecia círculos con 8 m de radio (16 m de diámetro), que en este caso sería la distancia que alcanza cada aspersor “Xcel Wobbler” para abastecer agua suficiente para el crecimiento del cultivo; es por ello que se ha propuesto la instalación de aspersores, cada una de ellas distribuidas adecuadamente para abarcar toda el área de cultivo de alfalfa.



**Figura 13.** Estimación de la cantidad de aspersores

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 13. Se aprecia la distribución de aspersores a considerar en el área en estudio, contemplándose un total de 105 aspersores, asimismo se aprecia la ubicación de la línea de impulsión, ramal principal de distribución y la línea de distribución, respectivamente.

#### b) Comportamiento hidráulico

Lo resultante las presiones, velocidades, longitud de la tubería, caudal, entre otros, se comprobaron en el programa Microsoft Excel, AutoCAD, con la utilización de la ecuación de Hazen Williamss, con el objeto de optimizar el tiempo de trabajo.

Los resultados a detalle de los cálculos hidráulicos del área en estudio para un sistema de riego, se muestra en la tabla N° 9 de cálculos hidráulicos.



**Figura 14.** Código único de cada tramo del área en estudio

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 14, se aprecia el código único de cada tramo del sistema de riego en el área en estudio; indicando que el código del tanque de almacenamiento está establecido como T-1; y la línea de distribución como TUB - 1 a TUB -111 y el código de los aspersores como As - 1 a As - 105 respectivamente.



En la tabla 16, se aprecia el cálculo hidráulico de la línea de distribución comenzando desde el tanque de almacenamiento (T-1), con un caudal de  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ , distribuida en una tubería de 1" y media, hasta abastecer a cada línea de riego, donde se garantiza la presión con 28.65 m.c.a., para la primera línea de riego, así mismo se especifica una presión de 34.46 m.c.a., para la segunda línea de riego; 34.50 m.c.a., para la tercera línea de riego; 34.38 m.c.a., para la cuarta línea de riego; 34.21 m.c.a., para la quinta línea de riego; 34.33 m.c.a., para la sexta línea de riego, 34.29 m.c.a., para la séptima línea de riego y finalmente la última línea de riego con 34.42 m.c.a.; especificando que la presión se cumple en cada línea de riego para el normal funcionamiento del sistema de riego.

**Tabla 16.** Cálculo hidráulico de la red de distribución

ELEMENTO	COTA	TRAMO		CAUDAL Q <sub>mh</sub> (m <sup>3</sup> /s)	LONGITUD L (m)	COTA DE TERRENO (m snm)		DESNIVEL DEL TERRENO (m)	PERDIDA DE CARGA UNIT. DISPONIBLE Hf (m)	PENDIENTE S (%)	DIÁMETRO NOMINAL ASUMIDO D (Pulg.)	VELOCIDAD V (m/s)	PERDIDA DE CARGA UNITARIA hf (m/m)	PERDIDA DE CARGA TRAMO Hf (m)	COTA PIEZOMETRICA (m snm)		PRESIÓN POR TRAMO (m.c.a.)	PRESIÓN EN EL ÚLTIMO PUNTO DEL ASPERSOR (m.c.a.)
		INICIAL	FINAL			INICIAL	FINAL											
		3	4			7	8								9	10		
T-1	3954.56	T-1	N-1	0.0500	186.87	3922.40	3922.40	32.16	0.1721	17.21	1 1/2	0.044	0.00010	0.0188	3954.56	3954.54	32.14	32.16
N-1	3922.40	N-1	N-2	0.0500	5.87	3922.38	3922.38	0.02	0.0034	0.34	1	0.099	0.00072	0.0042	3922.40	3922.40	0.02	32.18
N-2	3922.38	N-2	N-6	0.0500	12.18	3922.35	3922.35	0.03	0.0025	0.25	1	0.099	0.00072	0.0088	3922.38	3922.37	0.02	32.21
N-3	3922.42	N-6	N-7	0.0500	12.00	3922.35	3922.31	0.04	0.0033	0.33	1	0.099	0.00072	0.0087	3922.35	3922.34	0.03	32.25
N-4	3922.46	N-7	As-111	0.0443	35.93	3922.31	3922.00	0.31	0.0086	0.86	1	0.088	0.00058	0.0208	3922.31	3922.29	0.29	31.95
N-5	3922.50	As-111	As-107	0.0442	14.00	3922.00	3921.85	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.155	0.00234	0.0327	3922.00	3921.97	0.12	31.65
N-6	3922.35	As-107	As-108	0.0441	14.00	3921.85	3921.69	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.155	0.00232	0.0325	3921.85	3921.82	0.13	31.35
N-7	3922.31	As-108	As-14	0.0439	14.00	3921.69	3921.53	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.154	0.00231	0.0323	3921.69	3921.66	0.13	31.05
As-8	3920.25	As-14	As-15	0.0438	14.00	3921.53	3921.38	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.154	0.00230	0.0321	3921.53	3921.50	0.12	30.75
As-9	3920.10	As-15	As-16	0.0437	14.00	3921.38	3921.22	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.153	0.00228	0.0319	3921.38	3921.35	0.13	30.45
As-10	3921.66	As-16	As-17	0.0435	14.00	3921.22	3921.07	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.153	0.00227	0.0318	3921.22	3921.19	0.12	30.15
As-11	3921.50	As-17	As-57	0.0434	14.00	3921.07	3920.91	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00226	0.0316	3921.07	3921.04	0.13	29.85
As-12	3920.44	As-57	As-62	0.0432	14.00	3920.91	3920.75	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00224	0.0314	3920.91	3920.88	0.13	29.55
As-13	3920.29	As-62	As-63	0.0431	14.00	3920.75	3920.60	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.151	0.00223	0.0312	3920.75	3920.72	0.12	29.25
As-14	3921.53	As-63	As-12	0.0430	14.00	3920.60	3920.44	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.151	0.00222	0.0310	3920.60	3920.57	0.13	28.95
As-15	3921.38	As-12	As-13	0.0428	14.00	3920.44	3920.29	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.150	0.00220	0.0308	3920.44	3920.41	0.12	28.65
As-16	3921.22	N-7	As-112	0.0500	30.22	3922.31	3921.97	0.34	0.0113	1.13	3/4	0.176	0.00293	0.0886	3922.31	3922.22	0.25	32.59
As-17	3921.07	As-112	As-93	0.0499	14.00	3921.97	3921.81	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.175	0.00292	0.0409	3921.97	3921.93	0.12	32.75
As-18	3920.57	As-93	As-10	0.0497	14.00	3921.81	3921.66	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.175	0.00290	0.0406	3921.81	3921.77	0.11	32.90
As-19	3920.41	As-10	As-11	0.0496	14.00	3921.66	3921.50	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.174	0.00289	0.0404	3921.66	3921.62	0.12	33.06
As-20	3921.35	As-11	As-20	0.0494	14.00	3921.50	3921.35	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.174	0.00287	0.0402	3921.50	3921.46	0.11	33.21
As-21	3921.03	As-20	As-33	0.0493	14.00	3921.35	3921.19	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00286	0.0400	3921.35	3921.31	0.12	33.37
As-22	3920.88	As-33	As-21	0.0492	14.00	3921.19	3921.03	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00284	0.0398	3921.19	3921.15	0.12	33.53
As-23	3920.22	As-21	As-22	0.0490	14.00	3921.03	3920.88	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.172	0.00283	0.0396	3921.03	3920.99	0.11	33.68
As-24	3920.06	As-22	As-98	0.0489	14.00	3920.88	3920.72	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.172	0.00281	0.0394	3920.88	3920.84	0.12	33.84
As-25	3921.67	As-98	As-18	0.0488	14.00	3920.72	3920.57	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.171	0.00280	0.0392	3920.72	3920.68	0.11	33.99
As-26	3921.52	As-18	As-19	0.0486	14.00	3920.57	3920.41	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.171	0.00279	0.0390	3920.57	3920.53	0.12	34.15
As-27	3920.73	As-19	As-8	0.0485	14.00	3920.41	3920.25	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.170	0.00277	0.0388	3920.41	3920.37	0.12	34.31
As-28	3920.58	As-8	As-9	0.0483	14.00	3920.25	3920.10	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.170	0.00276	0.0386	3920.25	3920.21	0.11	34.46

PRIMERA LINEA DE RIEGO

SEGUNDA LINEA DE RIEGO





As_29	3921.60	N_6	As_105	0.0500	23.00	3922.35	3922.09	0.26	0.0113	1.13	34	0.176	0.00293	0.0675	3922.35	3922.28	0.19	32.47
As_30	3921.44	As_105	As_106	0.0499	14.00	3922.09	3921.93	0.16	0.0114	1.14	34	0.175	0.00292	0.0409	3922.09	3922.05	0.12	32.63
As_31	3921.14	As_106	As_88	0.0497	14.00	3921.93	3921.78	0.15	0.0107	1.07	34	0.175	0.00290	0.0406	3921.93	3921.89	0.11	32.78
As_32	3921.98	As_68	As_69	0.0496	14.00	3921.78	3921.62	0.16	0.0114	1.14	34	0.174	0.00289	0.0404	3921.78	3921.74	0.12	32.94
As_33	3921.19	As_69	As_79	0.0494	14.00	3921.62	3921.46	0.16	0.0114	1.14	34	0.174	0.00287	0.0402	3921.62	3921.58	0.12	33.10
As_34	3921.59	As_79	As_80	0.0493	14.00	3921.46	3921.31	0.15	0.0107	1.07	34	0.173	0.00286	0.0400	3921.46	3921.42	0.11	33.25
As_35	3921.43	As_80	As_96	0.0492	14.00	3921.31	3921.15	0.16	0.0114	1.14	34	0.173	0.00284	0.0398	3921.31	3921.27	0.12	33.41
As_36	3921.55	As_96	As_53	0.0490	14.00	3921.15	3921.00	0.15	0.0107	1.07	34	0.172	0.00284	0.0396	3921.15	3921.11	0.11	33.56
As_37	3921.39	As_53	As_54	0.0489	14.00	3921.00	3920.84	0.16	0.0114	1.14	34	0.172	0.00281	0.0394	3921.00	3920.96	0.12	33.72
As_38	3921.12	As_54	As_75	0.0488	14.00	3920.84	3920.68	0.16	0.0114	1.14	34	0.171	0.00280	0.0392	3920.84	3920.80	0.12	33.88
As_39	3920.96	As_75	As_76	0.0486	14.00	3920.68	3920.53	0.15	0.0107	1.07	34	0.171	0.00279	0.0390	3920.68	3920.64	0.11	34.03
As_40	3920.65	As_76	As_48	0.0485	14.00	3920.53	3920.37	0.16	0.0114	1.14	34	0.170	0.00277	0.0388	3920.53	3920.49	0.12	34.19
As_41	3920.49	As_48	As_23	0.0483	14.00	3920.37	3920.22	0.15	0.0107	1.07	34	0.170	0.00276	0.0386	3920.37	3920.33	0.11	34.34
As_42	3921.01	As_23	As_24	0.0482	14.00	3920.22	3920.06	0.16	0.0114	1.14	34	0.169	0.00274	0.0384	3920.22	3920.18	0.12	34.50
As_43	3920.85	N_2	As_73	0.0500	15.42	3922.38	3922.21	0.17	0.0110	1.10	34	0.176	0.00293	0.0452	3922.38	3922.33	0.12	32.35
As_44	3921.29	As_73	As_66	0.0499	14.00	3922.21	3922.06	0.15	0.0107	1.07	34	0.175	0.00292	0.0409	3922.21	3922.17	0.11	32.50
As_45	3921.13	As_66	As_67	0.0497	14.00	3922.06	3921.90	0.16	0.0114	1.14	34	0.175	0.00290	0.0406	3922.06	3922.02	0.12	32.66
As_46	3921.86	As_67	As_86	0.0496	14.00	3921.90	3921.74	0.16	0.0114	1.14	34	0.174	0.00289	0.0404	3921.90	3921.86	0.12	32.82
As_47	3921.71	As_86	As_34	0.0494	14.00	3921.74	3921.59	0.15	0.0107	1.07	34	0.174	0.00287	0.0402	3921.74	3921.70	0.11	32.97
As_48	3920.37	As_34	As_35	0.0493	14.00	3921.59	3921.43	0.16	0.0114	1.14	34	0.173	0.00286	0.0400	3921.59	3921.55	0.12	33.13
As_49	3921.05	As_35	As_83	0.0492	14.00	3921.43	3921.27	0.16	0.0114	1.14	34	0.173	0.00284	0.0398	3921.43	3921.39	0.12	33.29
As_50	3920.89	As_83	As_38	0.0490	14.00	3921.27	3921.12	0.15	0.0107	1.07	34	0.172	0.00283	0.0396	3921.27	3921.23	0.11	33.44
As_51	3921.48	As_38	As_39	0.0489	14.00	3921.12	3920.96	0.16	0.0114	1.14	34	0.172	0.00281	0.0394	3921.12	3921.08	0.12	33.60
As_52	3921.32	As_39	As_74	0.0488	14.00	3920.96	3920.81	0.15	0.0107	1.07	34	0.171	0.00280	0.0392	3920.96	3920.92	0.11	33.75
As_53	3921.00	As_74	As_40	0.0486	14.00	3920.81	3920.65	0.16	0.0114	1.14	34	0.171	0.00279	0.0390	3920.81	3920.77	0.12	33.91
As_54	3920.84	As_40	As_41	0.0485	14.00	3920.65	3920.49	0.16	0.0114	1.14	34	0.170	0.00277	0.0388	3920.65	3920.61	0.12	34.07
As_55	3920.46	As_41	As_81	0.0483	14.00	3920.49	3920.34	0.15	0.0107	1.07	34	0.170	0.00276	0.0386	3920.49	3920.45	0.11	34.22
As_56	3920.30	As_81	As_82	0.0482	14.00	3920.34	3920.18	0.16	0.0114	1.14	34	0.169	0.00274	0.0384	3920.34	3920.30	0.12	34.38
As_57	3920.91	N_1	N_3	0.0500	6.04	3922.40	3922.42	-0.02	-0.0033	-0.33	1	0.099	0.00072	0.0044	3922.40	3922.40	-0.02	32.14
As_58	3922.07	N_3	N_4	0.0481	12.08	3922.42	3922.46	-0.04	-0.0033	-0.33	1	0.095	0.00067	0.0081	3922.42	3922.41	-0.05	32.10
As_59	3921.91	N_4	N_5	0.0463	11.91	3922.46	3922.50	-0.04	-0.0034	-0.34	1	0.091	0.00063	0.0075	3922.46	3922.45	-0.05	32.06
As_60	3921.36	N_5	As_58	0.0445	53.73	3922.50	3922.07	0.43	0.0080	0.80	1	0.088	0.00058	0.0313	3922.50	3922.47	0.40	32.49
As_61	3921.20	As_58	As_59	0.0443	14.00	3922.07	3921.91	0.16	0.0114	1.14	34	0.156	0.00235	0.0329	3922.07	3922.04	0.13	32.65
As_62	3920.75	As_59	As_85	0.0442	14.00	3921.91	3921.76	0.15	0.0107	1.07	34	0.155	0.00234	0.0327	3921.91	3921.88	0.12	32.80
As_63	3920.60	As_85	As_29	0.0441	14.00	3921.76	3921.60	0.16	0.0114	1.14	34	0.155	0.00232	0.0325	3921.76	3921.73	0.13	32.96
As_64	3920.98	As_29	As_30	0.0439	14.00	3921.60	3921.44	0.16	0.0114	1.14	34	0.154	0.00231	0.0323	3921.60	3921.57	0.13	33.12
As_65	3920.82	As_30	As_44	0.0438	14.00	3921.44	3921.29	0.15	0.0107	1.07	34	0.154	0.00230	0.0321	3921.44	3921.41	0.12	33.27
As_66	3922.06	As_44	As_45	0.0437	14.00	3921.29	3921.13	0.16	0.0114	1.14	34	0.153	0.00228	0.0319	3921.29	3921.26	0.13	33.43
As_67	3921.90	As_45	As_64	0.0435	14.00	3921.13	3920.98	0.15	0.0107	1.07	34	0.153	0.00227	0.0318	3921.13	3921.10	0.12	33.58
As_68	3921.78	As_64	As_65	0.0434	14.00	3920.98	3920.82	0.16	0.0114	1.14	34	0.152	0.00226	0.0316	3920.98	3920.95	0.13	33.74
As_69	3921.62	As_65	As_88	0.0432	14.00	3920.82	3920.66	0.16	0.0114	1.14	34	0.152	0.00224	0.0314	3920.82	3920.79	0.13	33.90
As_70	3920.61	As_88	As_89	0.0431	14.00	3920.66	3920.51	0.15	0.0107	1.07	34	0.151	0.00223	0.0312	3920.66	3920.63	0.12	34.05
As_71	3921.79	As_89	As_97	0.0430	14.00	3920.51	3920.35	0.16	0.0114	1.14	34	0.151	0.00222	0.0310	3920.51	3920.48	0.13	34.21



As_72	3921.63	N_5	As_100	0.0500	35.23	3922.50	3922.10	0.40	0.0114	1.14	3/4	0.176	0.00293	0.1033	3922.50	3922.40	0.30	32.46
As_73	3922.21	As_100	As_99	0.0443	14.00	3922.10	3921.95	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.156	0.00235	0.0329	3922.10	3922.07	0.12	32.61
As_74	3920.81	As_99	As_71	0.0442	14.00	3921.95	3921.79	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.155	0.00234	0.0327	3921.95	3921.92	0.13	32.77
As_75	3920.68	As_72	As_72	0.0441	14.00	3921.79	3921.63	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.155	0.00232	0.0325	3921.79	3921.76	0.13	32.93
As_76	3920.53	As_72	As_51	0.0439	14.00	3921.63	3921.48	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.154	0.00231	0.0323	3921.63	3921.60	0.12	33.08
As_77	3922.17	As_51	As_52	0.0438	14.00	3921.48	3921.32	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.154	0.00230	0.0321	3921.48	3921.45	0.13	33.24
As_78	3922.02	As_52	As_84	0.0437	14.00	3921.32	3921.17	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.153	0.00228	0.0319	3921.32	3921.29	0.12	33.39
As_79	3921.46	As_84	As_42	0.0435	14.00	3921.17	3921.01	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.153	0.00227	0.0318	3921.17	3921.14	0.13	33.55
As_80	3921.31	As_42	As_43	0.0434	14.00	3921.01	3920.85	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00226	0.0316	3921.01	3920.98	0.13	33.71
As_81	3920.34	As_43	As_94	0.0432	14.00	3920.85	3920.70	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.152	0.00224	0.0314	3920.85	3920.82	0.12	33.86
As_82	3920.18	As_94	As_95	0.0431	14.00	3920.70	3920.54	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.151	0.00223	0.0312	3920.70	3920.67	0.13	34.02
As_83	3921.27	As_95	As_104	0.0430	14.00	3920.54	3920.39	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.151	0.00222	0.0310	3920.54	3920.51	0.12	34.17
As_84	3921.17	As_104	As_109	0.0428	14.00	3920.39	3920.23	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.150	0.00220	0.0308	3920.39	3920.36	0.13	34.33
As_85	3921.76	N_4	As_31	0.0500	28.54	3922.46	3922.14	0.32	0.0112	1.12	3/4	0.176	0.00293	0.0357	3922.46	3922.38	0.24	34.42
As_86	3921.74	As_31	As_32	0.0461	14.00	3922.14	3921.98	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.162	0.00253	0.0354	3922.14	3922.10	0.12	32.58
As_87	3921.24	As_32	As_90	0.0443	14.00	3921.98	3921.83	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.156	0.00235	0.0329	3921.98	3921.95	0.12	32.73
As_88	3920.66	As_90	As_25	0.0442	14.00	3921.83	3921.67	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.155	0.00234	0.0327	3921.83	3921.80	0.13	32.89
As_89	3920.51	As_25	As_26	0.0441	14.00	3921.67	3921.52	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.155	0.00232	0.0325	3921.67	3921.64	0.12	33.04
As_90	3921.83	As_26	As_60	0.0439	14.00	3921.52	3921.36	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.154	0.00231	0.0323	3921.52	3921.49	0.13	33.20
As_91	3920.42	As_60	As_61	0.0438	14.00	3921.36	3921.20	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.154	0.00230	0.0321	3921.36	3921.33	0.13	33.36
As_92	3920.27	As_61	As_49	0.0437	14.00	3921.20	3921.05	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.153	0.00228	0.0319	3921.20	3921.17	0.12	33.51
As_93	3921.81	As_49	As_50	0.0435	14.00	3921.05	3920.89	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.153	0.00227	0.0318	3921.05	3921.02	0.13	33.67
As_94	3920.70	As_50	As_27	0.0434	14.00	3920.89	3920.73	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00226	0.0316	3920.89	3920.86	0.13	33.83
As_95	3920.54	As_27	As_28	0.0432	14.00	3920.73	3920.58	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.152	0.00224	0.0314	3920.73	3920.70	0.12	33.98
As_96	3921.15	As_28	As_91	0.0431	14.00	3920.58	3920.42	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.151	0.00223	0.0312	3920.58	3920.55	0.13	34.14
As_97	3920.35	As_91	As_92	0.0430	14.00	3920.42	3920.27	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.151	0.00222	0.0310	3920.42	3920.39	0.12	34.29
As_98	3920.72	N_3	As_77	0.0500	22.12	3922.42	3922.17	0.25	0.0113	1.13	3/4	0.176	0.00293	0.0354	3922.42	3922.36	0.19	32.39
As_99	3921.95	As_77	As_78	0.0499	14.00	3922.17	3922.02	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.175	0.00292	0.0352	3922.17	3922.13	0.11	32.54
As_100	3922.10	As_78	As_46	0.0497	14.00	3922.02	3921.86	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.175	0.00290	0.0350	3922.02	3921.98	0.12	32.70
As_101	3921.08	As_46	As_47	0.0496	14.00	3921.86	3921.71	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.174	0.00289	0.0348	3921.86	3921.82	0.11	32.85
As_102	3920.92	As_47	As_36	0.0494	14.00	3921.71	3921.55	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.174	0.00287	0.0346	3921.71	3921.67	0.12	33.01
As_103	3920.77	As_36	As_37	0.0493	14.00	3921.55	3921.39	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00286	0.0344	3921.55	3921.51	0.12	33.17
As_104	3920.39	As_37	As_87	0.0492	14.00	3921.39	3921.24	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.173	0.00284	0.0342	3921.39	3921.35	0.11	33.32
As_105	3922.09	As_87	As_101	0.0490	14.00	3921.24	3921.08	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.172	0.00283	0.0340	3921.24	3921.20	0.12	33.48
As_106	3921.93	As_101	As_102	0.0489	14.00	3921.08	3920.92	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.172	0.00281	0.0338	3921.08	3921.04	0.12	33.64
As_107	3921.85	As_102	As_103	0.0488	14.00	3920.92	3920.77	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.171	0.00280	0.0336	3920.92	3920.88	0.11	33.79
As_108	3921.69	As_103	As_70	0.0486	14.00	3920.77	3920.61	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.171	0.00277	0.0334	3920.77	3920.73	0.12	33.95
As_109	3920.23	As_70	As_55	0.0485	14.00	3920.61	3920.46	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.170	0.00276	0.0332	3920.61	3920.57	0.11	34.10
As_110	3920.14	As_55	As_56	0.0483	14.00	3920.46	3920.30	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.170	0.00274	0.0330	3920.46	3920.42	0.12	34.26
As_111	3922.00	As_56	As_110	0.0482	14.00	3920.30	3920.14	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.169	0.00274	0.0328	3920.30	3920.26	0.12	34.42
As_112	3921.97																	

Fuente: Elaboración propia



Además de ello recalcar que no son los únicos componentes necesarios para el correcto funcionamiento de un bombeo con energía fotovoltaica, indicando que se necesitaran componentes como; el tipo de red eléctrica como vía de la energía a emplear; transformadores, inversores, reguladores de energía, contadores, cuadro de protecciones de (reguladores de energía, contadores y transformadores de energía); también generadores de energía; y el tipo de batería a emplear para el almacenamiento de energía.

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “El cálculo agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa estará en función a la energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.”, se acepta la hipótesis, puesto que los resultados de cálculo agronómico e hidráulico sirvió para el dimensionamiento fotovoltaico en el Centro Experimental Chuquibambilla.

Estos resultados con respecto Llatas (2018), son diferentes, donde considero en su cálculo agronómico; 0.9 de Kc de cultivo de alfalfa; con punto de marchitez del 8%, CC de 18%; profundidad de raíz de 0.2 m; calculando una lámina neta de riego de 12.64 mm/día y una lámina bruta de riego de 15.8 mm/día; con intervalos de riego de 3.81 días; a un tiempo de riego de 0.69 días; y con respecto al cálculo hidráulico, se diseñó con un caudal de 22.332 m<sup>3</sup>/h; con una velocidad de 0.74 m/s en la tubería de impulsión; impulsada por una bomba de 8 HP (6144 Wp); para impulsar 22 m<sup>3</sup> de agua por hora, acoplado a paneles que brindan energía de 20900 Wp, para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de bombeo. De la misma forma se realizará el empleo los siguientes diámetros de tuberías 110 mm y 90 mm respectivamente con aspersores que funcionan a presiones de 10 m.c.a.; así mismo Davalos (2019), calculo la potencia de la bomba solar a 1700 Wp, impulsada por 36 paneles de 100 Wp de generación de energía para una altura hidrodinámica total de 27.69 m, donde garantizo la distribución de agua para riego cumpliendo las presiones de alcance para cada aspersor utilizado. De igual manera Peralta



y Castillo (2016), en su estudio obtuvo las siguientes consideraciones del cálculo agronómico para su sistema de riego; obteniendo como demanda de agua de 2.80 mm/día para el cultivo de alfalfa; a un tiempo de riego de 0.359 h/día; y con respecto al cálculo hidráulico planteo el uso de aspersores de radios de alcance de 8 a 12 metros respectivamente con una presión de funcionamiento de 10 m.c.a, con diámetro de la tubería principal de 83.40 mm; tubería secundaria y terciaria de 30.70 mm; con un arreglo fotovoltaico para riego acoplado a una bomba de 12 HP (9216 Wp) para impulsar el agua a una altura hidrodinámica total (HDT) de 67.056 m y finalmente Jara y Ramos (2018), en su cálculo agronómico para el cultivo de alfalfa; obtuvo una lámina neta de riego de 4.53 l/m<sup>2</sup>/día, con un intervalo de riego de 1 a 3 días respectivamente y con respecto al cálculo hidráulico obtuvo como diámetros de tubería de 17.4 mm; con 33 aspersores; todo ello para un caudal de 0.46 l/s; así mismo para impulsar el agua hacia el reservorio a una altura hidrodinámica total de 11.29 m requirió una potencia del arreglo fotovoltaico de 231.84 Wp, respectivamente; recalando que cada autor presentan resultados diferentes debido a que existe diferencias en la demanda de agua de los cultivos, área de cultivos, área geográfica, entre otros factores determinantes para el diseño agronómico, hidráulico y del arreglo fotovoltaico.



### **4.3 ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO REQUERIDO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVOS DE ALFALFA ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA**

En relación al objetivo específico 3; estimar el presupuesto requerido para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla; se realizó su cumplimiento mediante la siguiente manera.

Se efectuó el metrado de los componentes que abarcará el sistema de riego con energía fotovoltaica con la ayuda del programa Microsoft Excel, realizando un análisis de costos unitarios por cada partida o actividad propuesta, obteniendo el presupuesto del sistema de riego propuesto mediante el programa S10-2005, por ello la lista de actividades del proyecto, unidades y metrados se aprecia en la tabla 14.

En la tabla 17, se aprecia los metrados del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica para el área en estudio; indicando que se presentan los siguientes títulos: Obras provisionales, flete terrestre, flete rural, captación, equipo fotovoltaico, línea de impulsión, reservorio y red de distribución; cada una de ellas con sus respectivas partidas.

**Tabla 17.** Metrados para el sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica

<b>RESUMEN DE METRADOS SISTEMA DE RIEGO</b>			
<b>PROYECTO</b>	: ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA		
<b>PROPIETARIO</b>	: Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA		
<b>UBICACIÓN</b>	: CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA - DISTRITO DE UMACHIRI - PROVINCIA DE MELGAR - PUNO		
<b>FECHA</b>	: DICIEMBRE DEL 2021		
CÓDIGO	DENOMINACIÓN Y/O DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO TOTAL
<b>01</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>		
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES</b>		
<b>01.01.01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>		
01.01.01.01	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSPORTE	GLB	1.000
01.01.01.02	ALQUILER DE OFICINA, ALMACEN Y GUARDIANA	MES	2.000
<b>01.01.02</b>	<b>FLETE TERRESTRE</b>		
01.01.02.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	VJE	5.000
01.01.02.02	TRANSPORTE DE AGREGADOS	VJE	3.000
<b>01.01.03</b>	<b>FLETE RURAL</b>		
01.01.03.01	TRANSPORTE RURAL DE MATERIALES	VJE	1.000
01.01.03.02	TRANSPORTE RURAL DE AGREGADOS	VJE	1.000
<b>01.02</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>		
<b>01.02.01</b>	<b>CAPTACION</b>		
01.02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	M2	20.000
01.02.01.02	EXCAVACION MANUAL	M3	16.000
01.02.01.03	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M4	8.000
01.02.01.04	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	M3	12.487
01.02.01.05	BOMBA SOLAR DE IHP = 1228.8 WP	UND	1.000
01.02.01.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE SUCCION PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 2"	M	5.000
01.02.01.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA TUB. DE SUCCION PVC SAP C-10	UND	3.000
01.02.01.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA BOMBA SOLAR DE IHP = 1228.8 WP	UND	1.000
01.02.01.09	CERCO PERIMETRICO	M	18.000
01.02.01.10	PUERTA EN CERCO PERIMETRICO	UND	1.000
<b>01.03.02</b>	<b>EQUIPO FOTOVOLTAICO</b>		
01.03.02.01	ESTRUCTURA METALICA, SOPORTE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS	GLB	25.000
01.03.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS	UND	25.000
01.03.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONTROLADOR SOLAR	UND	1.000
01.03.02.04	PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRONICOS	UND	1.000
01.03.02.05	ASISTENTE TECNICO ELECTRICISTA	GLB	1.000
<b>01.03.03</b>	<b>LINEA DE IMPULSION</b>		
<b>01.03.03.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
01.03.03.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	M2	98.220
01.03.03.01.02	EXCAVACION MANUAL	M3	78.576
01.03.03.01.03	CAMA DE APOYO E=10cm	M	9.822
01.03.03.01.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M3	68.754
<b>01.03.03.02</b>	<b>EQUIPAMIENTO HIDRAULICO</b>		
01.03.03.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	M	163.700
01.03.03.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODO PVC DE 90° SP NTP 399.019 DE 1 1/2"	UND	5.000
01.03.03.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE UNION SIMPLE DE PVC DE Ø 1 1/2"	UND	33.000
<b>01.03.03</b>	<b>RESEVORIO ELEVADO DE (30M3)</b>		
01.03.03.01	TANQUE CISTERNA DE 30M3 (INCLUIDO ACC. INTERNOS)	UND	1.000
01.03.03.02	CERCO PERIMETRICO	M	20.000
01.03.03.03	PUERTA DE CERCO PERIMETRICO	UND	1.000
<b>01.03.04</b>	<b>RED DE DISTRIBUCION</b>		
01.03.04.01	TRAZO Y REPLANTEO	M2	746.458
01.03.04.02	EXCAVACION MANUAL	M3	298.583
01.03.04.03	CAMA DE APOYO E=10cm	M	74.646



**RESUMEN DE METRADOS  
SISTEMA DE RIEGO**

<b>PROYECTO</b>	: ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA
<b>PROPIETARIO</b>	: Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA
<b>UBICACIÓN</b>	: CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA - DISTRITO DE UMACHIRI - PROVINCIA DE MELGAR - PUNO
<b>FECHA</b>	: DICIEMBRE DEL 2021

CÓDIGO	DENOMINACIÓN Y/O DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO TOTAL
01.03.04.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M3	223.938
01.03.04.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	M	207.930
01.03.04.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1"	M	84.350
01.03.04.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 3/4"	M	1575.150
01.03.04.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE CONTROL (COMPUERTA) P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	UND	15.000
01.03.04.09	SUMINISTRO E INSTALACION DE ASPERSORES XCEL WOBBLER DE 3/4"	UND	105.000
01.03.04.10	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PVC SAP C-10 P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	UND	282.000

**Fuente:** Elaboración propia con software S10

Los metrados del sistema de riego proyectado para el área en estudio, son la base para hallar el presupuesto necesario para la ejecución del sistema, los cuales fueron calculados en base a los planos de diseño apreciados en los anexos.

En la tabla 18, se aprecia el presupuesto calculado para el sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica de los diferentes títulos y partidas especificadas en los metrados; en donde se indica que el presupuesto asciende a S/ 96,718.15, para 1.80 hectáreas de cultivo de alfalfa; donde se estima que, el costo por hectárea será de S/ 53,732.31.



**Tabla 18.** Presupuesto calculado para el sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica

S10 Página 1

**Presupuesto**

Presupuesto 0102004 PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR ENERGIA FOTOVOLTAICA DE BAJO COSTO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA

Cliente S10 S.A.C. Costo al 19/07/2021

Lugar PUNO - MELGAR - UMACHIRI

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO				96,718.75
01.01	OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES				2,207.36
01.01.01	OBRAS PROVISIONALES				947.36
01.01.01.01	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSPORTE	gb	1.00	267.36	267.36
01.01.01.02	ALQUILER DE OFICINA, ALMACEN Y GUARDIANA	mes	2.00	340.00	680.00
01.01.02	FLETE TERRESTRE				1,140.00
01.01.02.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	vje	5.00	150.00	750.00
01.01.02.02	TRANSPORTE DE AGREGADOS	vje	3.00	130.00	390.00
01.01.03	FLETE RURAL				120.00
01.01.03.01	TRANSPORTE RURAL DE MATERIALES	vje	1.00	60.00	60.00
01.01.03.02	TRANSPORTE RURAL DE AGREGADOS	vje	1.00	60.00	60.00
01.02	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION				94,511.39
01.02.01	CAPTACION				9,689.54
01.02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	20.00	10.58	211.60
01.02.01.02	EXCAVACION MANUAL	m3	16.00	26.67	426.72
01.02.01.03	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	8.00	4.55	36.40
01.02.01.04	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	m3	12.49	111.92	1,397.88
01.02.01.05	BOMBA SOLAR DE 1HP = 1228.8 WP	und	1.00	893.96	893.96
01.02.01.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE SUCCION PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 2"	m	5.00	9.64	48.20
01.02.01.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA TUB. DE SUCCION PVC SAP C-10	und	3.00	103.66	310.98
01.02.01.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA BOMBA SOLAR DE 1HP = 1228.8 WP	und	1.00	2,065.96	2,065.96
01.02.01.09	CERCO PERIMETRICO	m	18.00	231.69	4,170.42
01.02.01.10	PUERTA DEL CERCO PERIMETRICO	und	1.00	127.42	127.42
01.02.02	EQUIPO FOTOVOLTAICO				10,892.32
01.02.02.01	ESTRUCTURA METALICA, SOPORTE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS	gb	25.00	234.82	5,870.50
01.02.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS	und	25.00	84.28	2,107.00
01.02.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONTROLADOR SOLAR	und	1.00	155.54	155.54
01.02.02.04	PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRONICOS	und	1.00	1,559.28	1,559.28
01.02.02.05	ASISTENTE TECNICO ELECTRICISTA	gb	1.00	1,200.00	1,200.00
01.02.03	LINEA DE IMPULSION				7,808.07
01.02.03.01	TRABAJOS PRELIMINARES				3,692.52
01.02.03.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	98.22	10.58	1,039.17
01.02.03.01.02	EXCAVACION MANUAL	m3	78.58	26.67	2,095.73
01.02.03.01.03	CAMA DE APOYO E=10cm	m3	9.82	31.23	306.68
01.02.03.01.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	68.75	3.65	250.94
01.02.03.02	EQUIPAMIENTO HIDRAULICO				4,115.55
01.02.03.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	m	163.70	24.31	3,979.55
01.02.03.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODO PVC DE 90° SP NTP 399.019 DE 1 1/2"	und	5.00	5.75	28.75
01.02.03.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE UNION SIMPLE DE PVC DE Ø 1 1/2"	und	33.00	3.25	107.25
01.02.04	RESEVORIO ELEVADO DE (30M3)				5,893.03
01.02.04.01	TANQUE CISTERNA DE 30M3 (INCLUIDO ACC. INTERNOS)	und	1.00	1,131.81	1,131.81
01.02.04.02	CERCO PERIMETRICO	m	20.00	231.69	4,633.80
01.02.04.03	PUERTA DEL CERCO PERIMETRICO	und	1.00	127.42	127.42
01.02.05	RED DE DISTRIBUCION				60,228.43
01.02.05.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	746.46	10.58	7,897.55
01.02.05.02	EXCAVACION MANUAL	m3	298.58	26.67	7,963.13
01.02.05.03	CAMA DE APOYO E=10cm	m3	74.65	31.23	2,331.32
01.02.05.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	223.94	4.55	1,018.93
01.02.05.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	m	207.93	18.22	3,788.48
01.02.05.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1"	m	84.35	15.22	1,283.81
01.02.05.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 3/4"	m	1,575.15	17.72	27,911.66

Fecha : 16/07/2021 14:25:34





### Presupuesto

Presupuesto	0102004	PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR ENERGIA FOTOVOLTAICA DE BAJO COSTO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA	Costo al	19/07/2021
Cliente	S10 S.A.C.			
Lugar	PUNO - MELGAR - UMACHIRI			

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.02.05.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE CONTROL (COMPUERTA) P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	und	15.00	24.87	373.05
01.02.05.09	SUMINISTRO E INSTALACION DE ASPERSORES XCEL WOBBLER DE 3/4"	und	105.00	28.24	2,965.20
01.02.05.10	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PVC SAP C-10 P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	und	282.00	16.65	4,695.30
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>96,718.75</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “La estimación del presupuesto requerido servirá para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.”, se acepta la hipótesis, puesto que la estimación del presupuesto servirá para que se pueda ejecutar el sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa alimentado por energía fotovoltaica en el Centro Experimental Chuquibambilla.

Estos resultados con respecto al estudio de Davalos (2019), son diferentes, en donde calculo un presupuesto estimado de S/ 84635.24 para la ejecución del sistema de riego para un plazo de ejecución de 3 meses para un área de 10000 m<sup>2</sup> (1 hectárea), así también con Palomino (2016), señala que la ejecución del sistema de riego por aspersión, mediante la utilización de energía fotovoltaica demandara un costo estimado de S/ 22360.49 por hectárea. Mientras que para Sarr, y otros (2021) el costo es de S/ 52211.5 por hectárea, considerando un tipo de cambio de 1 euro a 4.66 soles peruanos, en este caso el autor también considera otros tipos de riego como manual, goteo, aspersión, así también con reservorio o sin reservorio. En todos estos casos son distintos al calculado en la presente investigación debido al tamaños de los proyectos, método de riego, así también por el clima y los recursos utilizados, entre otros datos.

Asimismo, es importante manifestar que esta clase de proyectos de uso de agua se debe tener un enfoque integral de la sostenibilidad de las aguas subterráneas considerando



la hidrología, la ecología, factores socioeconómicos, de tecnología, culturales, legales e institucionales. Esclareciendo establecer un adeudo razonable entre intereses en conflicto. Los diversos usuarios de agua están emprendiendo a reflexionar la subsistencia del caudal base como el patrón contra el cual medir la sostenibilidad del agua subterránea (Mamani-Ramos et al., 2019; Ponce, 2007);

Es interesante mencionar que, en cuencas de agua vulnerables, el acceso no regulado a la energía solar y al agua subterránea puede amenazar la seguridad del agua a través del aumento de las extracciones. Ya sea en la zona de estudio o en el Altiplano en general, como lo refiere (Al-Saidi & Lahham, 2019); siendo factible evaluar el cultivo de energía solar como una innovación desde una perspectiva de nexo agua-energía-alimentos.

Según Llanqui (2013), manifiesta que las tecnologías más recomendables para el bombeo de agua es la utilización de la energía solar, porque las etapas de funcionamiento y mantenimiento, como el funcionamiento diario del sistema, la limpieza semanal del panel, la limpieza del tanque cada dos semanas, el control general anual, la revisión de las bombas cada cinco años, etc., no requieren personal profesional. Además, el bombeo con motor diésel requiere el funcionamiento de una persona cualificada que debe realizar tareas como el funcionamiento diario del sistema, la supervisión general semanal, la limpieza del depósito cada dos semanas, el cambio de aceite cada 50 horas de funcionamiento, el cambio de filtros cada tres meses, la revisión completa del generador cada 750 horas de funcionamiento, la revisión de la bomba cada cinco años de funcionamiento y el cambio de la bomba cada diez años; y evaluándolo desde el punto de vista económico a mejor opción es el bombeo de agua con energía fotovoltaica debido a los bajos costos de operación y mantenimiento.



## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la oferta de agua según el aforo realizado es de 1.88 l/s ( $0.0020 \text{ m}^3/\text{s}$ ) para el manantial denominado “Pujio”; todo ello con respecto a la temporada de estiaje (mes de junio); así mismo el aforo realizado en temporada de avenida (mes de diciembre); se obtuvo una oferta de agua de 2.34 l/s ( $0.00234 \text{ m}^3/\text{s}$ ); siendo variado la oferta de agua en las temporadas de estiaje y avenida respectivamente.
- De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto al cálculo agronómico se concluye que la evapotranspiración de cultivo es de 2.56 mm/día siendo para el mes de enero donde ocurrió la mayor evapotranspiración, todo ello en base al método de Penman-Monteith, con lamina neta y bruta de riego de 1.42 mm/día, a intervalos de riego de 0.56 días respectivamente, en un tiempo de riego de 14 minutos; todo ello realizado para  $18000 \text{ m}^2$  de cultivo de alfalfa requiriendo una demanda de agua de  $25.60 \text{ m}^3$  por día, abastecida con un caudal de  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ; para cada línea de riego siendo 8 turnos de riego y con respecto al cálculo hidráulico se obtuvo un caudal del bombeo de  $0.00167 \text{ m}^3/\text{s}$ , con diámetro de tubería de impulsión de 1.5” con una altura hidrodinámica total de 34.15 m; así mismo diámetro de tubería de succión de 2”; con potencia de la bomba de 1HP (768 Wp); todo ello siendo impulsada por una potencia total de energía de 1228 Wp; y para ello se requieren 25 paneles de capacidades de 50 Wp cada una; y con respecto a la línea de distribución se ha considerado 8 líneas de riego cada una de ellas con diámetro de  $\frac{3}{4}$ ”; distribuidas adecuadamente para abarcar todo el sistema de riego; contando con un total de 105 aspersores con radio de alcance de 8 metros, ubicadas con el fin de garantizar el riego eficiente de toda el área, garantizando la presión en el aspersor más desfavorable de cada línea de riego con presiones no menores a 30 m.c.a. para el normal funcionamiento del sistema.



- De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto a los metrados y costos unitarios del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica para el Centro Experimental Chuquibambilla se ha calculado un presupuesto para la implementación del sistema de riego por aspersión en cultivos de alfalfa de unos S/ 96718.15, para 1.80 hectáreas, siendo el costo por hectárea de S/ 53732.31, equivalente al 55% del monto general; los cuales no incluyen costos de mantenimiento, ahorrando el costo energético por el uso de energía eléctrica convencional debido a que empleara energía fotovoltaica para su funcionamiento, por ello se concluye que el sistema es factible tanto a nivel técnico como económico, la misma que favorecerá la producción de forraje y alimentación de los animales en épocas de sequía.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar este proyecto en el área en estudio; así también en las ciudades de la región de Puno, y del país, donde se exhiban circunstancias adecuadas de potencia requerida y de radiación, para el incremento del piso forrajero y de esta manera la cría del ganado tanto ovino, bovino, entre otros; nazcan con un peso adecuado para subsistencia; beneficiando de este modo a los productores agrícolas a mejorar su medio de vivir.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación empleando diferentes clases de emisores como: Los denominados mini aspersores, goteros entre otros, y visualizar cuál de todas ellas es la mejor que se acomoda en la región de Puno, y para de esta manera tener proyectos de riego más eficientes.
- Recalcando que en temporada de estiaje en la zona en estudio se presentan las heladas, lo cual conlleva a la inhibición del desarrollo de las plantas; frente a ello se recomienda cultivar alfalfa mejorada y/o resistente a las heladas en la zona en estudio.
- Se recomienda profundizar el presente trabajo de investigación con datos reales in situ para estimar la incidencia de la radiación solar, humedad relativa, densidad aparente, coeficiente de cultivo, insolación, entre otros datos para un diseño idóneo de un sistema de riego empleando energía fotovoltaica, puesto que en presente estudio se obtuvo dichos datos de una estación meteorológica que replica datos del punto de la estación mas no del punto de la zona en estudio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M. (2012). *Evaluación, mejora y ampliación del sistema de riego por aspersión Miraflores de la parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe*. (Bachelor's thesis, Quito, 2012).
- Alfaro, R., & Gonzales, V. (2008). *Estadística y probabilidades para ingenieros*. UNA, Puno.
- Al-Saidi, M., & Lahham, N. (2019). Solar energy farming as a development innovation for vulnerable water basins. *Development in Practice*, 29(5), 619-634.
- Asmat, C. (2018). *Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de yaurisque - Cusco*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- AutoSolar. (06 de Abril de 2020). *Energía Solar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/energia-solar-fotovoltaica-que-es-beneficios>
- Bonet, C., Rodríguez, D., & Guerrero. (2020). Aprovechamiento de la energía empleada en el riego por aspersión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 15-20.
- Caipo, J., Chavez, C., Paico, D., & Valencia, Y. (2019). *El funcionamiento de la energía solar fotovoltaica en las zonas rurales del Perú entre los años 2010 -2018*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Comisión Nacional de Riego. (2018). *Manual de inspeccion y revision de sistemas Fotovoltaicos*. Santiago de Chile: Ministerio de agricultura.



- 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.
- EDduca. (23 de Mayo de 2020). *Definicion de riego*. Obtenido de <https://definicion.mx/riego/>
- FAO. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- Gorka, E. (2012). *Automatizacion de sistema de Riego por goteo*. España: Universidad Publica de Navarra.
- Heredía, C., & Sámchez, D. (2018). *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 Sipan.
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico DC: McGrawHill.
- INIA. (2000). *Tecnologia de la alfalfa*. Lima: Instituto Nacional de Innovacion Agraria.
- INTA. (26 de Enero de 2018). *Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria* . Obtenido de <https://inta.gob.ar/noticias/reservorios-de-agua-y-riego-por-goteo-en-producciones-hortícolas>
- 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.



- Ladrón, J. (2017). *Diseño y calculo de una instalación Fotovoltaica aislada*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Lara, F. (2007). *Diseño de un sistema de riego por medio de energía solar, a través de paneles FV*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- 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.
- Lopez, C. (2018). *Limitaciones del riego artesanal y diseño de un sistema de riego por aspersión en el fundo Tauca-Tarma*. Lima: Universidad Peruana los Andes.
- Mamani-Ramos, A. P., Alfaro-Alejo, R., & Mamani-Gomez, J. A. (2019). Base flow estimation by water balance, groundwater numerical modelling and water table fluctuation method, case study Chumpe river sub-basin Yauli - Junin. *38th IAHR World Congress, 1857–1865*. <https://doi.org/10.3850/38wc092019-0874>.
- Maquera, L. (2014). *Evaluación económica del sistema de riego tecnificado en el cultivo de alfalfa (Medicago Sativa l.) en Vilcallami-Juli*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Martinez, R. (2021). *Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica*. La Habana: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.
- MINAGRI. (2018). *Manual del Calculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. Lima: Ministerio de Agricultura.





- Miñon, D., Gallego, J., & Barbarossa, R. (2013). *Producción de forraje de especies y cultivares de leguminosas en valles regados Norpatagónicos*. Jorge Besedra: EEA Valle Inferior-Convenio Provincia de Río Negro-INTA.
- NOVARGR. (23 de Mayo de 2020). *Aspersores aereros*. Obtenido de <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/aspersores-de-riego>
- Núñez, J. (2017). *Sistema de riego por aspersión en el sector Cascamache, distrito Huancabamba, provincia Huancabamba, región Piura*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- OSINERGMIN. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú*. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- 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.
- Peña, I. (04 de Diciembre de 2014). *Equipos de bombeo para aguas potables e Instalaciones auxiliares*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ivanderp/equipos-de-bombeo-y-obras-auxiliares>
- Peralta, A. (2018). *Estudio experimental de un sistema de bombeo solar fotovoltaico en corriente continua*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- 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.



- Perez, R. (2011). *Diseño de sistemas colectivos de riego a presión. Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia España.
- Plastisur. (2021). *Tubos y conexiones*. Cerro colorado: Plastisur.
- Ponce, V. M. (2007). Sustainable yield of groundwater. *California Department of Water Resources*.
- Ponce, V. M. (2014). Effect of groundwater pumping on the health of arid vegetative ecosystems. *Online Report, December*.  
[http://ponce.sdsu.edu/effect\\_of\\_groundwater\\_pumping.html](http://ponce.sdsu.edu/effect_of_groundwater_pumping.html).
- 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.
- Sarr, A., Diop, L., & Diatta, I. (2021). Technical and Economic Feasibility of Solar Pump Irrigation in the North-Niayes Region in Senegal. *Engineering, 13*, 399–419.  
<https://doi.org/10.4236/eng.2021.137029>.
- Waller, P., & Yitayew, M. (2015). *Irrigation and drainage engineering*. Springer.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia Eto

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

METODO PENMAN-MONTEITH													
Símbolo	Parámetros 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)	3.13	2.89	2.99	2.90	2.88	3.13	3.21	3.60	3.62	3.62	3.56	3.11
$\gamma$	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)	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
$e_s$	Presion de vapor de saturacion (Kpa)	1.48	1.44	1.39	1.38	1.30	1.10	1.02	1.17	1.32	1.24	1.37	1.31
$e_a$	Presion de vapor (Kpa)	1.14	1.16	1.12	1.15	1.06	0.88	0.79	0.94	1.07	0.97	1.05	0.99
$R_n$	Radiacion neta en la superficie del cultivo (MJ/m <sup>2</sup> /dia)	8.74	8.22	7.74	7.67	7.88	7.36	8.20	9.26	9.42	9.08	8.95	8.50
$G$	Flujo de calor del suelo (MJ/m <sup>2</sup> /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>2.56</b>	<b>2.37</b>	<b>2.24</b>	<b>2.13</b>	<b>2.15</b>	<b>1.94</b>	<b>2.01</b>	<b>2.15</b>	<b>2.33</b>	<b>2.38</b>	<b>2.49</b>	<b>2.48</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>79.26</b>	<b>68.84</b>	<b>69.53</b>	<b>63.90</b>	<b>66.61</b>	<b>58.23</b>	<b>62.32</b>	<b>66.79</b>	<b>70.03</b>	<b>73.71</b>	<b>74.83</b>	<b>76.84</b>

Para cuestiones de diseño hidraulico se asume el mes que tuvo mayor evapotranspiracion

**Anexo 2.** Cálculo agronómico para el sistema de riego por aspersión (1.80Ha de cultivo de alfalfa)

**PARAMETROS DE DISEÑO  
CALCULO AGRONOMICO**

<b>Diseño Agronomico Referencia: Manual para el diseño de sistemas de riego</b>													
<b>Símbolo</b>	<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<i>Eto</i>	Evapotranspiración de Cultivo de referencia	2.56	2.37	2.24	2.13	2.15	1.94	2.01	2.15	2.33	2.38	2.49	2.48
<i>Kc</i>	Coefficiente de cultivo (Alfalfa)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Etc</i>	<b>Evapotranspiración de Cultivo (mm/día)</b>	<b>2.56</b>	<b>2.37</b>	<b>2.24</b>	<b>2.13</b>	<b>2.15</b>	<b>1.94</b>	<b>2.01</b>	<b>2.15</b>	<b>2.33</b>	<b>2.38</b>	<b>2.49</b>	<b>2.48</b>
<i>Ln</i>	<b>Lamina neta de riego (mm/día)</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>
<i>%</i>	Eficiencia de aplicación (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Lb</i>	<b>Lamina bruta de riego (mm/día)</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>	<b>1.42</b>
<i>I</i>	Intervalo o Frecuencia de riego (días)	0.56	0.60	0.63	0.67	0.66	0.73	0.71	0.66	0.61	0.60	0.57	0.57
<i>Tr</i>	Tiempo de riego (Horas)	0.14	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.14	0.18	0.18	0.14	0.16	0.18
<i>D</i>	Demanda de agua requerida para el área en estudio "1.80ha" (m3)	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60	25.60
<i>Q</i>	Caudal necesario para el sistema (m3/s)	0.050	0.06	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04
<b>TURNOS DE RIEGO</b>													
Por cada línea de riego													

### Anexo 3. Cuadro de radiación solar extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes

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

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

Hemisferio Norte												Hemisferio Sur												
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Lat. grad.	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	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	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	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	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	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	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	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
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	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
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	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
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	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
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	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
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	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
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	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
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	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
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	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
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	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
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	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
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	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
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	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
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	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
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	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
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	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
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	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
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	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
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	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
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	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
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	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
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	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
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	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
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	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
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	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
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	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
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	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
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	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

<sup>1</sup> Los valores de N durante el día 15<sup>mo</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 4. Cuadro de la insolación máxima diaria (n) para diferentes latitudes

## Anexo 5. Cálculo hidráulico del sistema de riego por aspersión

### PARÁMETROS DE DISEÑO CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION

**PROYECTO** : ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA

**PROPIETARIO** : Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA

**UBICACIÓN** : CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA - DISTRITO DE UMACHIRI - PROVINCIA DE MELGAR - DEPARTAMENTO DE PUNO

**FECHA** : DICIEMBRE DEL 2021

Referencia: Manual para el diseño de sistemas de riego

#### I. CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE IMPULSION

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Volumen del tanque	Vta	-	30.00	m3	Segn. dema. de agua
Tiempo de llenado	T	-	5.00	hrs	Criterio Tecnico
<b>Caudal de bombeo</b>	<b>Qb</b>	<b>Vta/T</b>	<b>0.00167</b>	<b>m3/s</b>	-
Diametro de tubería de impulsión	Di	$1.3*(X^{1/4})*\sqrt{Qb}$	1.41	Pulg.	-
<b>Diametro Asumido para tubería de impulsión</b>	<b>Di</b>	-	<b>1.50</b>	<b>Pulg.</b>	<b>Se asume/Criterio</b>

#### II. CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE SUCCION

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Diametro de tubería de impulsión	Di	-	1.50	Pulg.	Item I
<b>Diametro de tubería de succión</b>	<b>Ds</b>	-	<b>2.00</b>	<b>Pulg.</b>	<b>Criterio tecnico</b>

NOTA: El diametro de succion siempre sera mayor al diametro de impulsión

#### III. CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Velocidad	V	$(4*Q)/(\pi*D)$	0.06	m/s	-
Perdida de carga de accesorios-tub. de succión	hf <sub>as</sub>	$K(V^2/2g)$	0.03	m	-
Coefficiente de rugosidad	C	-	150.00	C	PVC
Longitud de tubería de succión	L	-	5.00	m	-
Perdida de carga de tubería de succión	h <sub>fs</sub>	$10.679*L/(C^1.852)*(D^4.87))^*D^1.85$	0.00000128	m	-
Perdida de carga de accesorios-tub. de impulsión	hf <sub>ai</sub>	$K(V^2/2g)$	0.20	C	-
Longitud de tubería de impulsión	L	-	163.70	m	-
Perdida de carga de tubería de impulsión	hf <sub>i</sub>	$10.679*L/(C^1.852)*(D^4.87))^*D^1.85$	0.000128	m	-
Altura de la tubería de succión	H <sub>s</sub>	-	2.00	m	-
Altura de la tubería de impulsión	H <sub>i</sub>	-	32.14	m	-
Altura Hidrodinamica Total	HDT	$Hs + Hi + \sum hfs + \sum hfi + (V^2/2g) + Ps$	34.15	m	-
Potencia de la bomba	P <sub>b</sub>	$((1000*Qb*HDT)/(75*n))$	0.84	hp	-
<b>Potencia de la bomba</b>	<b>Pb</b>	-	<b>1.00</b>	<b>hp</b>	<b>Criterio tecnico</b>

#### III. CALCULO DE LA RADIACION SOLAR "SIN NUBOSIDAD - LUQUE (2002)"

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Declinación solar	δ	$23.45^{\circ}*\text{sen}(360(dn+284)/365)$	-2.61	°	-
Angulo de salida solar sobre un plano horizontal	ω <sub>S</sub>	$-\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi))$	-89.31	°	-
Angulo de salida solar sobre un plano inclinado	ω <sub>SS</sub>	$\max(\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi-\beta)))$	-88.31	°	-
Factor de excentricidad	ε <sub>0</sub>	$1+0.033*\cos((360*d_n)/365)$	0.99	-	-
Irradiancia solar est. sobre un plano horizontal	H <sub>0</sub>	$(\pi/180)*\text{sen}(\delta)*\text{sen}(\phi)-\text{cos}(\delta)*\text{cos}(\phi)*\text{sen}(\omega_s)$	19779.44	Wh/m2	-
Indice de claridad	KT <sub>m</sub>	G <sub>0</sub> /H <sub>0</sub>	0.09	Wh/m2	-
Fracción difusa	FD <sub>m</sub>	1-1.13KT <sub>m</sub>	0.89	Wh/m2	-
Radiación difusa sobre un plano horizontal	D <sub>0</sub>	FD <sub>m</sub> *G <sub>0</sub>	1663.17	Wh/m2	-
Radiación directa sobre un plano horizontal	H <sub>dm</sub>	G <sub>0</sub> -D <sub>0</sub>	197.82	Wh/m2	-
Radiación solar directa sobre p. solar inclinado	H(β,α)	H(dm(0))*K	542.03	Wh/m2	-
Radiación solar difusa sobre p. solar inclinado	D(β,α)	$D0*((1+\cos(\beta))/2)$	1557.21	Wh/m2	-
Radiación solar albedo sobre p. solar inclinado	AL(β,α)	$\rho*G0*((1-\cos(\beta))/2)$	23.61	Wh/m2	-
<b>Radiación solar global sobre p. solar inclinado</b>	<b>Rg</b>	<b>H(β,α)+D(β,α)+AL(β,α)</b>	<b>2122.85</b>	<b>Wh/m2</b>	<b>-</b>

#### IV. CALCULO DE LA RADIACION SOLAR "CON NUBOSIDAD - LUQUE (2002)"

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Declinacion solar	$\delta$	$23.45^\circ \cdot \sin(360(dn + 284)/365)$	-18.04	$^\circ$	-
Angulo de salida solar sobre un plano horizontal	$\omega_s$	$-\arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi))$	-85.08	$^\circ$	-
Angulo de salida solar sobre un plano inclinado	$\omega_{ss}$	$\max(\omega_s; -\arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi - \beta)))$	-85.08	$^\circ$	-
Factor de excentricidad	$\epsilon_0$	$1 + 0.033 \cdot \cos(360 \cdot d_n / 365)$	1.03	-	-
Irradiancia solar est. sobre un plano horizontal	H0	$(I_{n0} \cdot \cos^2 \epsilon_0 \cdot (1 - (n/180)^\pi) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) - \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s))$	8579.38	Wh/m2	-
Indice de claridad	KTm	G0/H0	0.21	Wh/m2	-
Fraccion difusa	FDm	$1 - 1.13KTm$	0.75	Wh/m2	-
Radiación difusa sobre un plano horizontal	D0	FDm * G0	1404.86	Wh/m2	-
Radiación directa sobre un plano horizontal	Hdm	G0 - D0	456.13	Wh/m2	-
Radiación solar directa sobre p. solar inclinado	H( $\beta, \alpha$ )	H(dm(0)) * K	649.79	Wh/m2	-
Radiación solar difusa sobre p. solar inclinado	D( $\beta, \alpha$ )	D0 * ((1 + cos( $\beta$ ))/2)	1315.36	Wh/m2	-
Radiación solar albedo sobre p. solar inclinado	AL( $\beta, \alpha$ )	$\rho \cdot G0 \cdot ((1 - \cos(\beta))/2)$	23.61	Wh/m2	-
<b>Radiación solar global sobre p. solar inclinado</b>	<b>Rg</b>	<b>H(<math>\beta, \alpha</math>) + D(<math>\beta, \alpha</math>) + AL(<math>\beta, \alpha</math>)</b>	<b>1988.76</b>	<b>Wh/m2</b>	-

#### V. CALCULO DEL MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Informacion Base de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Radicion Solar existente	Rs	-	2122.85	kw/m2*dia	Atlas Solar Global
Angulo de inclinacion	A	$L - 23.5^\circ \cdot \sin((T/365.25) \cdot 360^\circ)$	15.64	$^\circ$	-
Orientacion	O	-	<b>Norte</b>	-	Aquino 2017
Altura	h	$\sin(A) \cdot 1570 + 200$	623.26	mm	-
Distancia	d	$h / \tan(61^\circ - A)$	0.61	m	-
Votencia total del generador fotovoltaico	Vn	f.s. * (Epot.max.diaria / 0.9 * HPT * KT)	762.92	Wp	-
Tension nominal	Tn	-	12.00	V	Sgn (Davalos 2019)
Inversor	I	-	$P \leq 800Wp$	Wp	Sgn (Davalos 2019)
Potencia de la bomba en Watio Pico	Pb	Pb * 768	768.00	Wp	-
Potencia total de la bomba	PT	Wp * 1.6	1228.80	Wp	-
Potencia de cada panel a utilizar	PP	-	50.00	Wp	-
Cantidad de paneles	CP	PT/PP	24.58	Panel	-
<b>Cantidad de paneles a utilizar</b>	<b>CP</b>	-	<b>25.00</b>	<b>Panel</b>	<b>Criterio tecnico</b>
<b>NOTA: Para el funcionamiento de la bomba sera necesario la utilizacion de 25 paneles solares de generacion de 50 Wp de energía.</b>					
Numero de paneles en serie	Nps	Vn/PP	16.47	Panel	Sgn (Davalos 2019)
<b>Numero de paneles en serie</b>	<b>Nps</b>	-	<b>16.00</b>	<b>Panel</b>	<b>Criterio tecnico</b>
Numero de paneles en Paralelo	Npp	CP/Nps	1.52	Panel	Sgn (Davalos 2019)
Numero de paneles en Paralelo	Npp	-	<b>2.00</b>	<b>Panel</b>	<b>Criterio tecnico</b>

## Anexo 6. Cálculo hidráulico del sistema de riego por aspersión

### CÁLCULO HIDRÁULICO LINEA DE DISTRIBUCIÓN

Escisión de C

ELEMENTO	COTA	TRAMO		CAUDAL Qm <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /s)	LONGITUD L (m)	COTA DE TERRENO (mm)		DESNIVEL DEL TERRENO (m)	PERDIDA DE CARGA DISPONIBLE H <sub>d</sub> (m)	PENDIENTE S (%)	DIÁMETRO NOMINAL ASUMIDO D (Pulg.)	VELOCIDAD V (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA UNITARIA HF (m/m)	PERDIDA DE TRAMO TRAMO HF (m)	COTA PIEZOMÉTRICA (mm)		PRESIÓN POR TRAMO (m.c.a.)	PRESIÓN EN EL ÚLTIMO PUNTO DEL ASPIRADOR (m.c.a.)
		INICIAL	FINAL			INICIAL	FINAL											
T-1	3954.56	T-1	N-1	0.0500	166.87	3954.56	3922.40	32.16	0.1721	17.21	1 1/2	0.044	0.00070	0.0168	3954.56	3954.56	32.14	32.16
N-1	3922.40	N-1	N-2	0.0500	5.87	3922.40	3922.38	0.02	0.0034	0.34	1	0.089	0.00072	0.0042	3922.40	3922.40	0.02	32.18
N-2	3922.38	N-2	N-6	0.0500	12.18	3922.38	3922.35	0.03	0.0025	0.25	1	0.099	0.00072	0.0088	3922.38	3922.37	0.02	32.21
N-3	3922.42	N-6	N-7	0.0500	12.00	3922.35	3922.31	0.04	0.0033	0.33	1	0.099	0.00072	0.0087	3922.35	3922.34	0.03	32.25
N-4	3922.46	N-7	As-111	0.0463	35.93	3922.31	3922.00	0.31	0.0086	0.86	1	0.088	0.00078	0.0208	3922.31	3922.29	0.29	31.85
N-5	3922.50	As-111	As-107	0.0462	14.00	3922.00	3921.85	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.155	0.00234	0.0327	3922.00	3921.97	0.12	31.65
N-6	3922.35	As-107	As-108	0.0441	14.00	3921.85	3921.69	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.155	0.00231	0.0325	3921.85	3921.62	0.13	31.35
N-7	3922.31	As-108	As-14	0.0439	14.00	3921.69	3921.53	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.154	0.00231	0.0323	3921.69	3921.66	0.13	31.05
As-8	3920.25	As-14	As-15	0.0438	14.00	3921.53	3921.38	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.154	0.00230	0.0321	3921.53	3921.50	0.12	30.75
As-9	3920.10	As-15	As-16	0.0437	14.00	3921.38	3921.22	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.153	0.00228	0.0319	3921.38	3921.35	0.13	30.45
As-10	3921.66	As-16	As-17	0.0435	14.00	3921.22	3921.07	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.153	0.00227	0.0318	3921.22	3921.19	0.12	30.15
As-11	3921.50	As-17	As-57	0.0434	14.00	3921.07	3920.91	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00226	0.0316	3921.07	3921.04	0.13	29.85
As-12	3920.44	As-57	As-62	0.0432	14.00	3920.91	3920.75	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.152	0.00224	0.0314	3920.91	3920.88	0.13	29.55
As-13	3920.29	As-62	As-63	0.0431	14.00	3920.75	3920.60	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.151	0.00223	0.0312	3920.75	3920.72	0.12	29.25
As-14	3921.53	As-63	As-12	0.0430	14.00	3920.60	3920.44	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.151	0.00222	0.0310	3920.60	3920.57	0.13	28.95
As-15	3921.38	As-12	As-13	0.0428	14.00	3920.44	3920.29	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.150	0.00220	0.0308	3920.44	3920.41	0.12	28.65
As-16	3921.22	N-7	As-112	0.0500	30.22	3922.31	3921.97	0.34	0.0113	1.13	3/4	0.176	0.00293	0.0886	3922.31	3922.22	0.25	32.59
As-17	3921.07	As-112	As-93	0.0499	14.00	3921.97	3921.81	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.175	0.00292	0.0886	3921.97	3921.93	0.12	32.75
As-18	3920.57	As-93	As-10	0.0497	14.00	3921.81	3921.66	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.175	0.00290	0.0886	3921.81	3921.77	0.11	32.90
As-19	3920.41	As-10	As-11	0.0496	14.00	3921.66	3921.50	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.174	0.00289	0.0886	3921.66	3921.62	0.12	33.06
As-20	3921.35	As-11	As-20	0.0494	14.00	3921.50	3921.35	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.174	0.00287	0.0886	3921.50	3921.46	0.11	33.21
As-21	3921.03	As-20	As-33	0.0493	14.00	3921.35	3921.19	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00286	0.0886	3921.35	3921.31	0.12	33.37
As-22	3920.88	As-33	As-21	0.0492	14.00	3921.19	3921.03	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00284	0.0886	3921.19	3921.15	0.12	33.53
As-23	3920.22	As-21	As-22	0.0490	14.00	3921.03	3920.88	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.172	0.00283	0.0886	3921.03	3920.99	0.11	33.68
As-24	3920.06	As-22	As-98	0.0489	14.00	3920.88	3920.72	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.172	0.00281	0.0886	3920.88	3920.84	0.12	33.84
As-25	3921.67	As-98	As-18	0.0488	14.00	3920.72	3920.57	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.171	0.00280	0.0886	3920.72	3920.68	0.11	33.99
As-26	3921.52	As-18	As-19	0.0486	14.00	3920.57	3920.41	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.171	0.00279	0.0886	3920.57	3920.53	0.12	34.15
As-27	3920.73	As-19	As-8	0.0485	14.00	3920.41	3920.25	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.170	0.00277	0.0886	3920.41	3920.37	0.12	34.31
As-28	3920.58	As-8	As-9	0.0483	14.00	3920.25	3920.10	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.170	0.00276	0.0886	3920.25	3920.21	0.11	34.46
As-29	3921.66	N-6	As-105	0.0500	23.00	3922.35	3922.09	0.26	0.0113	1.13	3/4	0.176	0.00293	0.0875	3922.35	3922.28	0.19	32.47
As-30	3921.44	As-105	As-106	0.0499	14.00	3922.09	3921.93	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.175	0.00292	0.0875	3922.09	3922.05	0.12	32.63
As-31	3922.14	As-106	As-68	0.0497	14.00	3921.93	3921.78	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.174	0.00290	0.0875	3921.93	3921.89	0.11	32.78
As-32	3921.98	As-68	As-69	0.0496	14.00	3921.78	3921.62	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.174	0.00289	0.0875	3921.78	3921.74	0.12	32.94
As-33	3921.19	As-69	As-79	0.0494	14.00	3921.62	3921.46	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.174	0.00287	0.0875	3921.62	3921.58	0.12	33.10
As-34	3921.59	As-79	As-80	0.0493	14.00	3921.46	3921.31	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.173	0.00286	0.0875	3921.46	3921.42	0.11	33.25
As-35	3921.43	As-80	As-96	0.0492	14.00	3921.31	3921.15	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.173	0.00284	0.0875	3921.31	3921.27	0.12	33.41
As-36	3921.55	As-96	As-53	0.0490	14.00	3921.15	3921.00	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.172	0.00283	0.0875	3921.15	3921.11	0.11	33.56
As-37	3921.39	As-53	As-54	0.0489	14.00	3921.00	3920.84	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.172	0.00282	0.0875	3921.00	3920.96	0.12	33.72
As-38	3921.12	As-54	As-75	0.0488	14.00	3920.84	3920.68	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.171	0.00280	0.0875	3920.84	3920.80	0.12	33.88
As-39	3920.96	As-75	As-76	0.0486	14.00	3920.68	3920.53	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.171	0.00279	0.0875	3920.68	3920.64	0.11	34.03
As-40	3920.65	As-76	As-48	0.0485	14.00	3920.53	3920.37	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.170	0.00277	0.0875	3920.53	3920.49	0.12	34.19
As-41	3920.49	As-48	As-23	0.0483	14.00	3920.37	3920.22	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.170	0.00276	0.0875	3920.37	3920.33	0.11	34.34
As-42	3921.01	As-23	As-24	0.0482	14.00	3920.22	3920.06	0.16	0.0114	1.14	3/4	0.169	0.00274	0.0875	3920.22	3920.18	0.12	34.50
As-43	3920.85	N-2	As-73	0.0500	15.42	3922.38	3922.21	0.17	0.0110	1.10	3/4	0.176	0.00293	0.0862	3922.38	3922.33	0.12	32.35
As-44	3921.29	As-73	As-66	0.0499	14.00	3922.21	3922.06	0.15	0.0107	1.07	3/4	0.175	0.00292	0.0862	3922.21	3922.17	0.11	32.50





## Anexo 7. Medrado del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica

### RESUMEN DE METRADOS SISTEMA DE RIEGO

<b>PROYECTO</b>	: ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA
<b>PROPIETARIO</b>	: Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA
<b>UBICACIÓN</b>	: CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA - DISTRITO DE UMACHIRI - PROVINCIA DE MELGAR - PUNO
<b>FECHA</b>	: DICIEMBRE DEL 2021

CÓDIGO	DENOMINACIÓN Y/O DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO TOTAL
<b>01</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>		
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES</b>		
<b>01.01.01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>		
<b>01.01.01.01</b>	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSPORTE	GLB	1.000
<b>01.01.01.02</b>	ALQUILER DE OFICINA, ALMACEN Y GUARDIANIA	MES	2.000
<b>01.01.02</b>	<b>FLETE TERRESTRE</b>		
<b>01.01.02.01</b>	TRANSPORTE DE MATERIALES	VJE	5.000
<b>01.01.02.02</b>	TRANSPORTE DE AGREGADOS	VJE	3.000
<b>01.01.03</b>	<b>FLETE RURAL</b>		
<b>01.01.03.01</b>	TRANSPORTE RURAL DE MATERIALES	VJE	1.000
<b>01.01.03.02</b>	TRANSPORTE RURAL DE AGREGADOS	VJE	1.000
<b>01.02</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>		
<b>01.02.01</b>	<b>CAPTACION</b>		
<b>01.02.01.01</b>	TRAZO Y REPLANTEO.	M2	20.000
<b>01.02.01.02</b>	EXCAVACION MANUAL	M3	16.000
<b>01.02.01.03</b>	RELLENDO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M4	8.000
<b>01.02.01.04</b>	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	M3	12.487
<b>01.02.01.05</b>	BOMBA SOLAR DE IHP = 1228.8 WP	UND	1.000
<b>01.02.01.06</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE SUCCION PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 2"	M	5.000
<b>01.02.01.07</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA TUB. DE SUCCION PVC SAP C-10	UND	3.000
<b>01.02.01.08</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA BOMBA SOLAR DE IHP = 1228.8 WP	UND	1.000
<b>01.02.01.09</b>	CERCO PERIMETRICO	M	18.000
<b>01.02.01.10</b>	PUERTA EN CERCO PERIMETRICO	UND	1.000
<b>01.03.02</b>	<b>EQUIPO FOTOVOLTAICO</b>		
<b>01.03.02.01</b>	ESTRUCTURA METALICA, SOPORTE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS	GLB	25.000
<b>01.03.02.02</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS	UND	25.000
<b>01.03.02.03</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONTROLADOR SOLAR	UND	1.000
<b>01.03.02.04</b>	PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRONICOS	UND	1.000
<b>01.03.02.05</b>	ASISTENTE TECNICO ELECTRICISTA	GLB	1.000
<b>01.03.03</b>	<b>LINEA DE IMPULSION</b>		
<b>01.03.03.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
<b>01.03.03.01.01</b>	TRAZO Y REPLANTEO	M2	98.220
<b>01.03.03.01.02</b>	EXCAVACION MANUAL	M3	78.576
<b>01.03.03.01.03</b>	CAMA DE APOYO E=10cm	M	9.822
<b>01.03.03.01.04</b>	RELLENDO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M3	68.754
<b>01.03.03.02</b>	<b>EQUIPAMIENTO HIDRAULICO</b>		
<b>01.03.03.02.01</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	M	163.700
<b>01.03.03.02.02</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODO PVC DE 90° SP NTP 399.019 DE 1 1/2"	UND	5.000
<b>01.03.03.02.03</b>	SUMINISTRO E INSTALACION DE UNION SIMPLE DE PVC DE Ø 1 1/2"	UND	33.000
<b>01.03.03</b>	<b>RESEVORIO ELEVADO DE (30M3)</b>		
<b>01.03.03.01</b>	TANQUE CISTERNA DE 30M3 (INCLUIDO ACC. INTERNOS)	UND	1.000
<b>01.03.03.02</b>	CERCO PERIMETRICO	M	20.000
<b>01.03.03.03</b>	PUERTA DE CERCO PERIMETRICO	UND	1.000
<b>01.03.04</b>	<b>RED DE DISTRIBUCION</b>		
<b>01.03.04.01</b>	TRAZO Y REPLANTEO.	M2	746.458
<b>01.03.04.02</b>	EXCAVACION MANUAL	M3	298.583
<b>01.03.04.03</b>	CAMA DE APOYO E=10cm	M	74.646



## RESUMEN DE METRADOS SISTEMA DE RIEGO

<b>PROYECTO</b>	: ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO EN UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA
<b>PROPIETARIO</b>	: Bach. ABEL ARIZACA HUILLCA
<b>UBICACIÓN</b>	: CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA - DISTRITO DE UMACHIRI - PROVINCIA DE MELGAR - PUNO
<b>FECHA</b>	: DICIEMBRE DEL 2021

CÓDIGO	DENOMINACIÓN Y/O DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO TOTAL
01.03.04.04	RELLENDO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	M3	223.938
01.03.04.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	M	207.930
01.03.04.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1"	M	84.350
01.03.04.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 3/4"	M	1575.150
01.03.04.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE CONTROL (COMPUERTA) P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	UND	15.000
01.03.04.09	SUMINISTRO E INSTALACION DE ASPERSORES XCEL WOBBLER DE 3/4"	UND	105.000
01.03.04.10	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PVC SAP C-10 P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	UND	282.000



## Anexo 8. Presupuesto calculado del sistema de riego por aspersión alimentado por energía fotovoltaica

### Presupuesto

Presupuesto 0102004 PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR ENERGIA FOTOVOLTAICA DE BAJO COSTO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA  
 Cliente S10 S.A.C. Costo al 19/07/2021  
 Lugar PUNO - MELGAR - UMACHIRI

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>				96,718.75
01.01	<b>OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES</b>				2,207.36
01.01.01	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				947.36
01.01.01.01	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSPORTE	gb	1.00	267.36	267.36
01.01.01.02	ALQUILER DE OFICINA, ALMACEN Y GUARDIANA	mes	2.00	340.00	680.00
01.01.02	<b>FLETE TERRESTRE</b>				1,140.00
01.01.02.01	TRANSPORTE DE MATERIALES	vje	5.00	150.00	750.00
01.01.02.02	TRANSPORTE DE AGREGADOS	vje	3.00	130.00	390.00
01.01.03	<b>FLETE RURAL</b>				120.00
01.01.03.01	TRANSPORTE RURAL DE MATERIALES	vje	1.00	60.00	60.00
01.01.03.02	TRANSPORTE RURAL DE AGREGADOS	vje	1.00	60.00	60.00
01.02	<b>SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION</b>				94,511.39
01.02.01	<b>CAPTACION</b>				9,689.54
01.02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	20.00	10.58	211.60
01.02.01.02	EXCAVACION MANUAL	m3	16.00	26.67	426.72
01.02.01.03	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	8.00	4.55	36.40
01.02.01.04	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	m3	12.49	111.92	1,397.88
01.02.01.05	BOMBA SOLAR DE 1HP = 1228.8 WP	und	1.00	893.96	893.96
01.02.01.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE SUCCION PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 2"	m	5.00	9.64	48.20
01.02.01.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA TUB. DE SUCCION PVC SAP C-10	und	3.00	103.66	310.98
01.02.01.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PARA BOMBA SOLAR DE 1HP = 1228.8 WP	und	1.00	2,065.96	2,065.96
01.02.01.09	CERCO PERIMETRICO	m	18.00	231.69	4,170.42
01.02.01.10	PUERTA DEL CERCO PERIMETRICO	und	1.00	127.42	127.42
01.02.02	<b>EQUIPO FOTOVOLTAICO</b>				10,892.32
01.02.02.01	ESTRUCTURA METALICA, SOPORTE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS	gb	25.00	234.82	5,870.50
01.02.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS	und	25.00	84.28	2,107.00
01.02.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE CONTROLADOR SOLAR	und	1.00	155.54	155.54
01.02.02.04	PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRONICOS	und	1.00	1,559.28	1,559.28
01.02.02.05	ASISTENTE TECNICO ELECTRICISTA	gb	1.00	1,200.00	1,200.00
01.02.03	<b>LINEA DE IMPULSION</b>				7,808.07
01.02.03.01	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				3,692.52
01.02.03.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	98.22	10.58	1,039.17
01.02.03.01.02	EXCAVACION MANUAL	m3	78.58	26.67	2,095.73
01.02.03.01.03	CAMA DE APOYO E=10cm	m3	9.82	31.23	306.68
01.02.03.01.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	68.75	3.65	250.94
01.02.03.02	<b>EQUIPAMIENTO HIDRAULICO</b>				4,115.55
01.02.03.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	m	163.70	24.31	3,979.55
01.02.03.02.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODO PVC DE 90° SP NTP 399.019 DE 1 1/2"	und	5.00	5.75	28.75
01.02.03.02.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE UNION SIMPLE DE PVC DE Ø 1 1/2"	und	33.00	3.25	107.25
01.02.04	<b>RESEVORIO ELEVADO DE (30M3)</b>				5,893.03
01.02.04.01	TANQUE CISTERNA DE 30M3 (INCLUIDO ACC. INTERNOS)	und	1.00	1,131.81	1,131.81
01.02.04.02	CERCO PERIMETRICO	m	20.00	231.69	4,633.80
01.02.04.03	PUERTA DEL CERCO PERIMETRICO	und	1.00	127.42	127.42
01.02.05	<b>RED DE DISTRIBUCION</b>				60,228.43
01.02.05.01	TRAZO Y REPLANTEO	m2	746.46	10.58	7,897.55
01.02.05.02	EXCAVACION MANUAL	m3	298.58	26.67	7,963.13
01.02.05.03	CAMA DE APOYO E=10cm	m3	74.65	31.23	2,331.32
01.02.05.04	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	223.94	4.55	1,018.93
01.02.05.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1 1/2"	m	207.93	18.22	3,788.48
01.02.05.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 1"	m	84.35	15.22	1,283.81
01.02.05.07	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SP NTP 399.002 C-10 DE 3/4"	m	1,575.15	17.72	27,911.66

Fecha : 16/07/2021 14:25:34

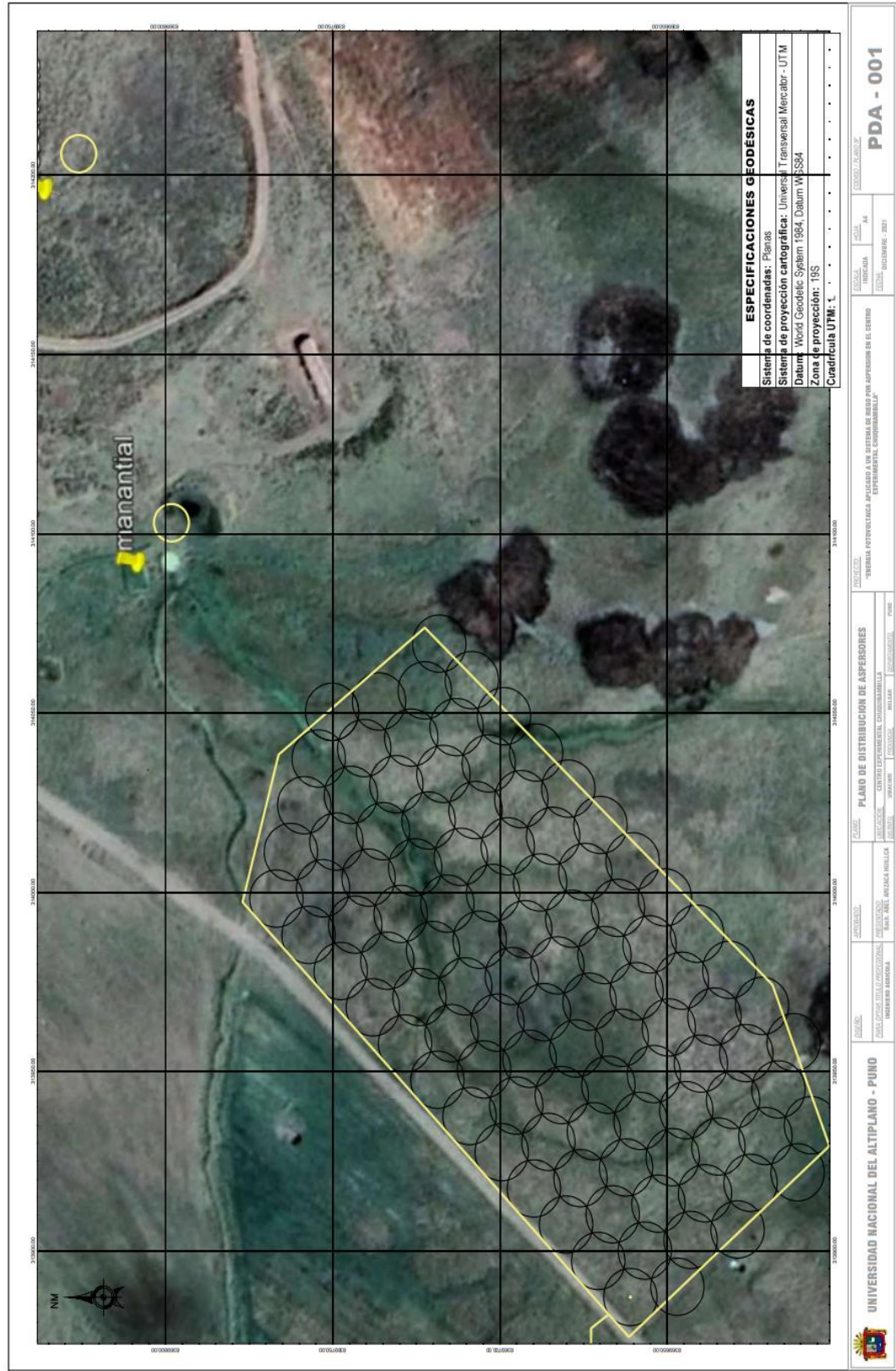


### Presupuesto

Presupuesto 0102004 PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION ALIMENTADO POR ENERGIA FOTOVOLTAICA DE BAJO COSTO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL CHUQUIBAMBILLA  
Cliente S10 S.A.C. Costo al 19/07/2021  
Lugar PUNO - MELGAR - UMACHIRI

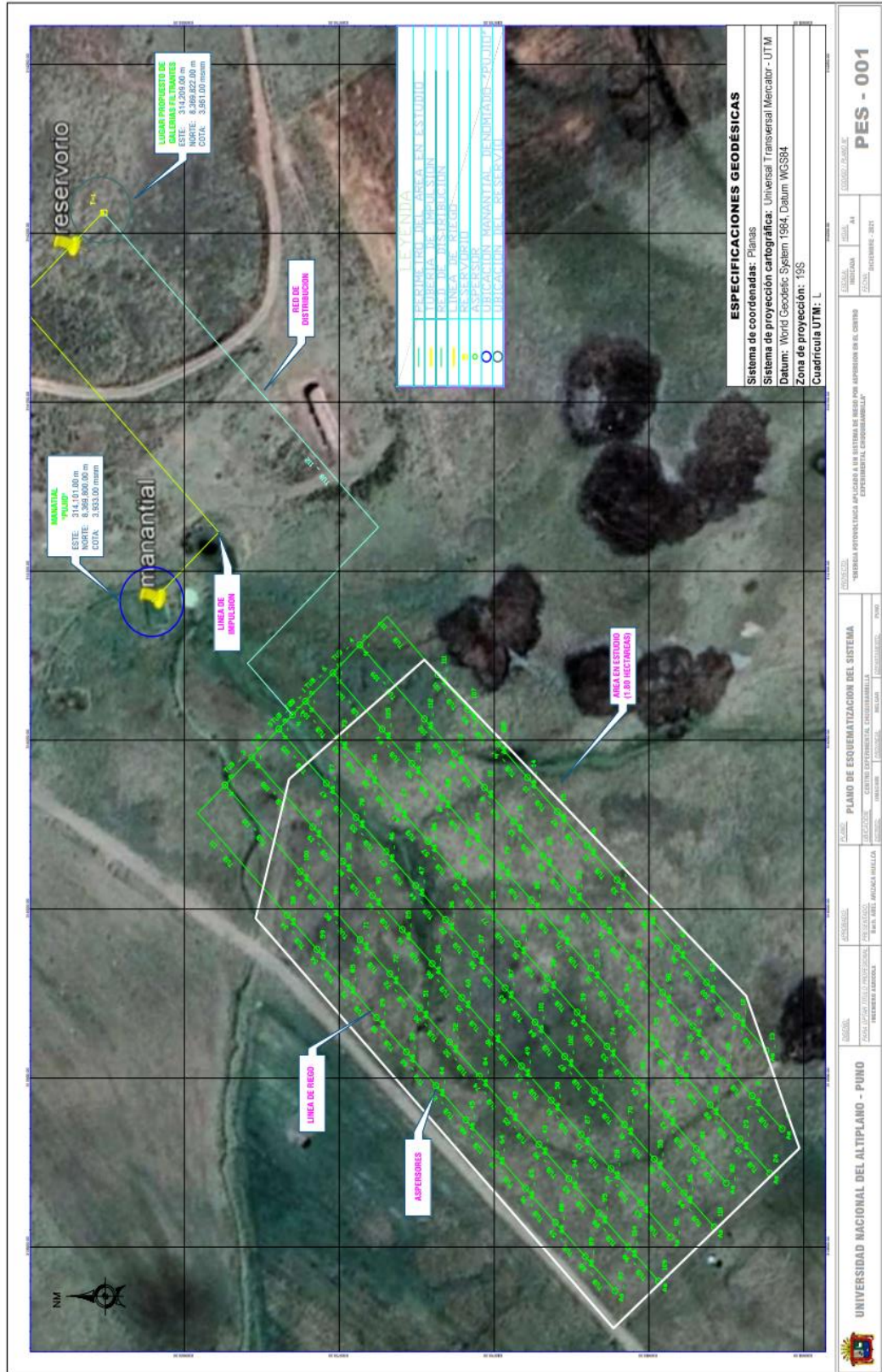
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.02.05.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE CONTROL (COMPUERTA) P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	und	15.00	24.87	373.05
01.02.05.09	SUMINISTRO E INSTALACION DE ASPERSORES XCEL WOBBLER DE 3/4"	und	105.00	28.24	2,965.20
01.02.05.10	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PVC SAP C-10 P/TUB DE 3/4"; 1"; 1 1/2"	und	282.00	16.65	4,695.30
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>96,718.75</b>

Anexo 9. Plano de distribución de aspersores





Anexo 11. Plano esquemático del sistema de riego calculado





## Anexo 12. Especificaciones técnicas de la bomba de agua solar

Enviar a Perú Todos ES Hola, Identificate Cuenta y Listas Devoluciones y Pedidos 0

Todo Ofertas del Día Servicio al Cliente Listas Tarjetas de Regalo Vender

Herramientas y Mejoras del Hogar Los más Vendidos Ofertas y Ahorros Ideas de Regalos Herramientas Eléctricas y Manuales

BLUEETTI AC50S Generador Solar con panel solar de 120W SP120 incluido, 500Wh de estación de energía portátil con 2x120V AC salidas- Paquete de batería para campamento, viaje de caza, emergencia en el hogar 263 **\$699<sup>99</sup>**

Patio, Césped y Jardín > Decoración Exterior > Jardines Acuáticos y Estanques > Bombas y Circulación > Bombas Patrocinado

### ECO-WORTHY Sistema de bomba de agua solar, 2 paneles solares de 100 W + bomba de pozo sumergible de 12 V + caja de batería de 10 AH para riego

3 paquetes a tienda de ECO-WORTHY 82 calificaciones

**No disponible por el momento.**  
No sabemos si este producto volverá a estar disponible, ni cuándo.  
[Enviar a Perú](#)

[Agregar a la Lista](#)

[¿Tienes para vender?](#)  
[Vender en Amazon](#)

**1 opción desde US\$239.98**

**1 opción desde US\$359.98**

**1 opción desde US\$429.98**

**1 opción desde US\$409.99**

Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom

VIDEO

**Marca** ECO-WORTHY  
**Color** Sistema de bomba de 200 W, 12 V  
**Material** Plástico Acero inoxidable  
**Estilo** Sumergible, agua solar, bomba solar  
**Fuente de energía** Energía solar  
**Caudal máximo** 1.6 Galones por minuto

**Red Lion 97101501 RL-SPRK150 -...**  
336  
**\$358<sup>99</sup>** Patrocinado

### Sobre este artículo

- Kit de bomba solar todo en uno: este kit viene con 2 paneles solares mono de 100 W y batería de 10 ah que puede operar la bomba automáticamente sin electricidad en días soleados, la caja de batería de 10 ah puede hacer que tu flujo de agua sea más continuo y estable.
- Fácil instalación: conecta los polos positivos y negativos de la bomba de agua a la batería o panel solar o controlador de carga solar. Un pequeño agujero está reservado encima de la bomba de agua para conectar la cuerda. No utilices cables para levantar la bomba de agua.
- Caja de batería de 10 AH: diseñada específicamente para bomba de pozo solar, combina creativamente el controlador de carga de la caja de batería en uno, lo que puede hacer que el sistema de bomba de agua funcione más estable. Y viene con un conector de conexión rápida para una fácil conexión.

### Anexo 13. Especificaciones técnicas del panel solar a utilizar (50Wp)

## Panel Solar 50W 12V

## Especificaciones

Tamaño del módulo	532 x 674 x 30 mm
Tipo de célula	Policristalina 52 x 156 mm
Número de células	36 (4x9)
Potencia máxima (Wp)	50W
Tolerancia de potencia (%)	±3%
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.7V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	2.9A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	18.3V
Intensidad a máxima potencia (Im)	2.73A
Fusible máximo Serie	10A
Número de diodos	2
Longitud y tipo cable	Sin cables
Condiciones del test	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	600Vdc
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%
Peso	4.0Kg

Parte delantera
Parte trasera



[Inicio](#) / [Energía Solar](#)

## PANEL SOLAR POLICRISTAL DE 50 WATTS – PPS50W

[Iniciar sesión para ver precios](#)

**CODIGO:** PPS50W

**FABRICANTE:** Prostar

- › PANEL SOLAR POLICRISTAL DE 50 WATTS.
- › MODULO SOLAR TIPO POLICRISTALINO DE 4×9 CELDAS.
- › Pot 50W, Isc 3A, Voc 22.5V, Imp 2.78A, Vmp 18V, Vnom 12V.
- › VOLTAJE MAX DEL SISTEMA 1000V / 15A.
- › DIMENSIONES: 670x540x28mm, 4Kg.
- › CONECTORES MC4 DIFERENCIADOS (+/-)

**Categoría:** Energía Solar

## PRODUCTOS RELACIONADOS

[Asesores en Línea](#)

## Anexo 14. Especificaciones técnicas de la batería de almacenamiento de energía para la bomba.

Tensite
AGM DC 12-150

### AGM DEEP CYCLE BATTERY 12V 150 AH


---

DEEP CYCLE SERIES BATTERY

DC series VRLA batteries are superior Deep Cycle design with thick plates, high-density active materials and slightly stronger electrolyte, which can withstand repeated deep cyclic applications.  
Deep Cycle series batteries are the special design batteries with 10 years floating design life at 25°C. Meet with IEC, BS,JIS and Eurobat standard, UL(MH62092), CE approved.

APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system



GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

---

TECHNICAL SPECIFICATIONS

BATTERY MODEL	Nominal voltage		12V	
	Rated capacity (100 hour rate)		150Ah	
DIMENSION	Cells Per battery			
	Length	Width	Height	Total Height
APPROX. WEIGHT	35.5 kg ± 3%			
CAPACITY @ 25°C	10 hour rate (12A, 10.8V) 120 Ah	5 hour rate (19.2A, 10.5V) 96 Ah	3 hour rate (30A, 10.2V) 90 Ah	1 hour rate (72A, 9.6V) 72 Ah
MAX. DISCHARGE CURRENT	1200 A (5 sec.)			
INTERNAL RESISTANCE	Full charged Vat 25°C: Approx. 3.9mΩ			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	40°C 102%	25°C 100%	0°C 85%	-15°C 65%
SELF DISCHARGE @25°C	After 3 months storage 91%		After 6 months storage 82%	After 12 months storage 64%
CHARGE METHOD @25°C	Cycle Use 14.1-14.4V (Initial charging current less than 36A)		Float Use 13.50-13.80V	
CONSTRUCTION	Container BS (UL94-HB) / Flame retardant ABS (UL94-V0)	Electrolyte Sulfuric acid	Separator Fiber glass	Positive Lead dioxide
			Negative Lead	Safety valve EPDR
				Terminal Copper

---

BATTERY DISCHARGE TABLE

CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C

F.V / TIME	5 min	10 min	15 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
9.60	A	384.0	253.0	204.0	137.0	72.0	42.0	31.0	24.0	19.8	14.0	12.6
	W	3967.0	2704.0	2189.0	1471.0	778.0	461.0	343.0	270.0	225.1	160.9	145.5
10.20	A	372.0	228.0	192.0	131.0	68.0	40.0	30.0	23.4	19.4	13.7	12.4
	W	3976.0	2551.0	2151.0	1468.0	765.0	462.0	347.0	272.1	226.6	160.1	145.2
10.50	A	360.0	204.0	168.0	122.0	66.0	39.0	29.0	23.0	19.2	13.6	12.1
	W	3933.0	2325.0	1919.0	1409.0	759.0	454.0	341.0	269.6	225.1	159.5	143.4
10.80	A	347.0	193.0	156.0	113.0	63.0	38.0	29.0	22.7	18.7	13.2	12.0
	W	3894.0	2221.0	1800.0	1307.0	738.0	447.0	337.0	267.8	221.3	156.4	142.6
11.10	A	335.0	180.0	144.0	101.0	61.0	37.0	28.0	22.1	18.2	12.8	11.4
	W	3803.0	2090.0	1679.0	1179.0	720.0	440.0	328.0	263.0	217.7	153.8	137.6

---

Tensite  
info@tensitebatteries.com  
www.tensitebatteries.com

## Anexo 15. Especificaciones técnicas del aspersor Xcel-Wobbler

MINI-WOBBLER WOBBLER **XCEL-WOBBLER**

# Xcel-Wobbler® Ángulo Medio y Alto

El Xcel-Wobbler utiliza la tecnología de acción rotativa no centrada de Senninger, proporcionando un patrón de aplicación instantáneo y extremadamente uniforme en grandes áreas y con pérdidas por evaporación muy bajas.



### COMPARATIVA DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE ASPERSIÓN

Xcel-Wobbler  
(Ángulo alto)

Difusor  
Fijo

Chorro  
Dispositivos  
Dirigidos

Al tener una mayor área de aplicación instantánea, el Xcel-Wobbler minimiza el impacto sobre la estructura del suelo, ayudando a mantener la capacidad de infiltración.



ÁNGULO MEDIO



ÁNGULO ALTO

### CARACTERÍSTICAS

- El contrabalanceo reduce la vibración, dando un rendimiento suave y estable
- Una única pieza móvil, lo que supone una mayor vida útil
- Conexiones: NPT macho de 3/4" o 1/2"
- Caudales: de 0,78 a 6,97 gpm (177 a 1583 l/h)
- Presiones de funcionamiento: de 10 a 25 psi (0,69 a 1,72 bar)
- Baja pérdida por viento y evaporación a bajas presiones

*El Xcel-Wobbler proporciona un área de cobertura máxima para aplicaciones subfoliares e invernaderos.*

## Anexo 16. Potencia fotovoltaica en el sitio web Atlas Solar Global

The screenshot displays the Atlas Solar Global interface for a site in Ayaviri, Peru. The map on the left shows a color-coded solar potential map with a red location pin. A pink notification box at the top left reads: "Bienvenido a Global Solar Atlas v2.7 lanzado en junio de 2022. ¿Qué hay de nuevo?". The right panel provides detailed site information and a table of solar data.

### Ayaviri

-14.789963°, -070.659943°  
Ayaviri, Puno, Perú  
Huso horario: UTC-05, América/Lima [PET]

[Abrir detalle](#) [Marcador](#) [Compartir](#) [Informes](#)

#### INFORMACIÓN DEL SITIO

**Datos del mapa** Por año ▾

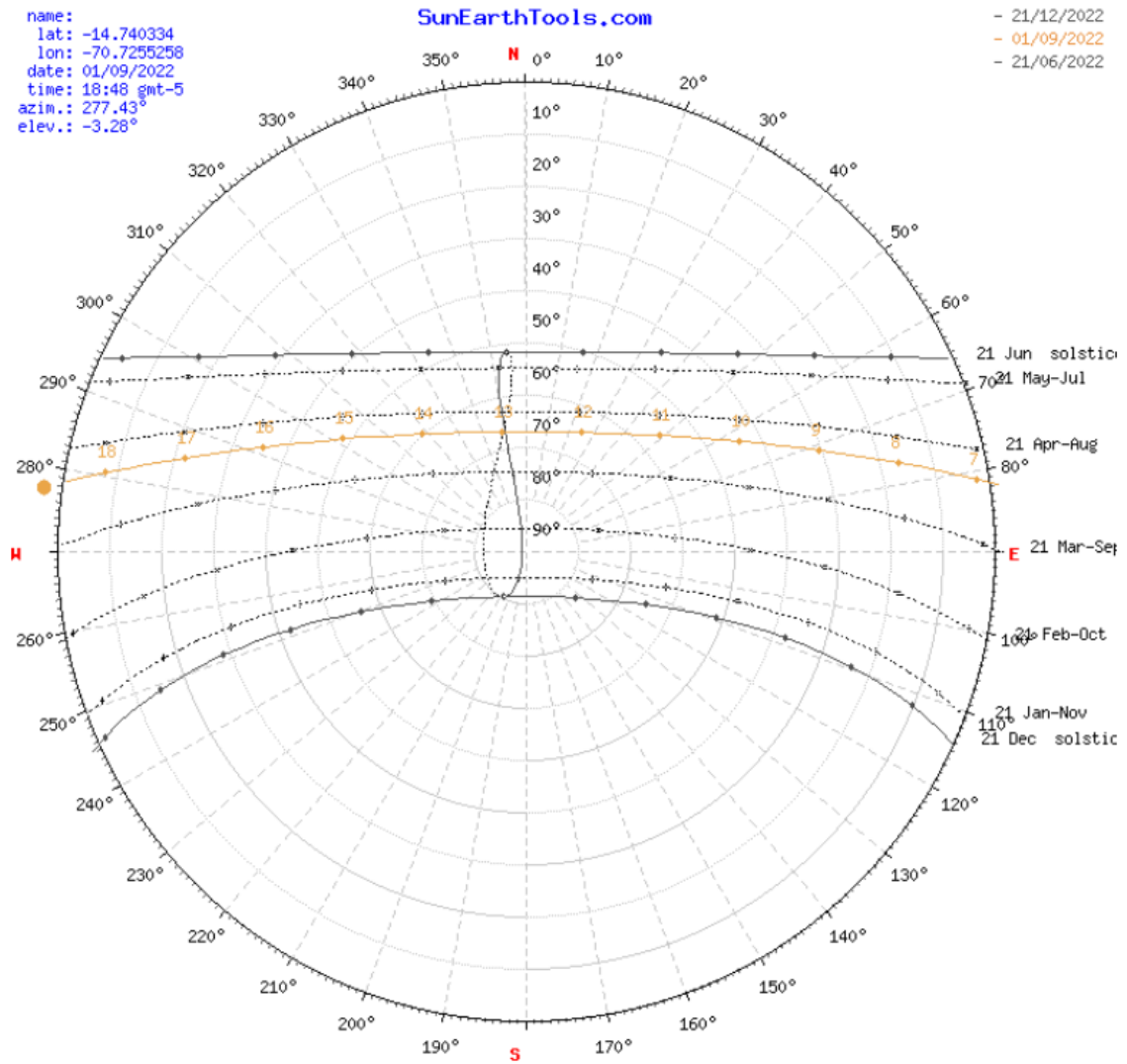
<input checked="" type="checkbox"/> Potencia fotovoltaica específica	PVOUT específico	1932.4 kWh/kWp ▾
Irradiación normal directa	DNI	2306.4 kWh/m <sup>2</sup> ▾
Irradiación horizontal global	Ghi	2251.1 kWh/m <sup>2</sup> ▾
Irradiación horizontal difusa	Dif	680.8 kWh/m <sup>2</sup> ▾
Irradiación inclinada global en ángulo óptimo	GTI opta	2378.2 kWh/m <sup>2</sup> ▾
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	20 / 0 °
Temperatura del aire	TEMP	7.7 °C ▾
Elevación del terreno	Ele	4042 m ▾

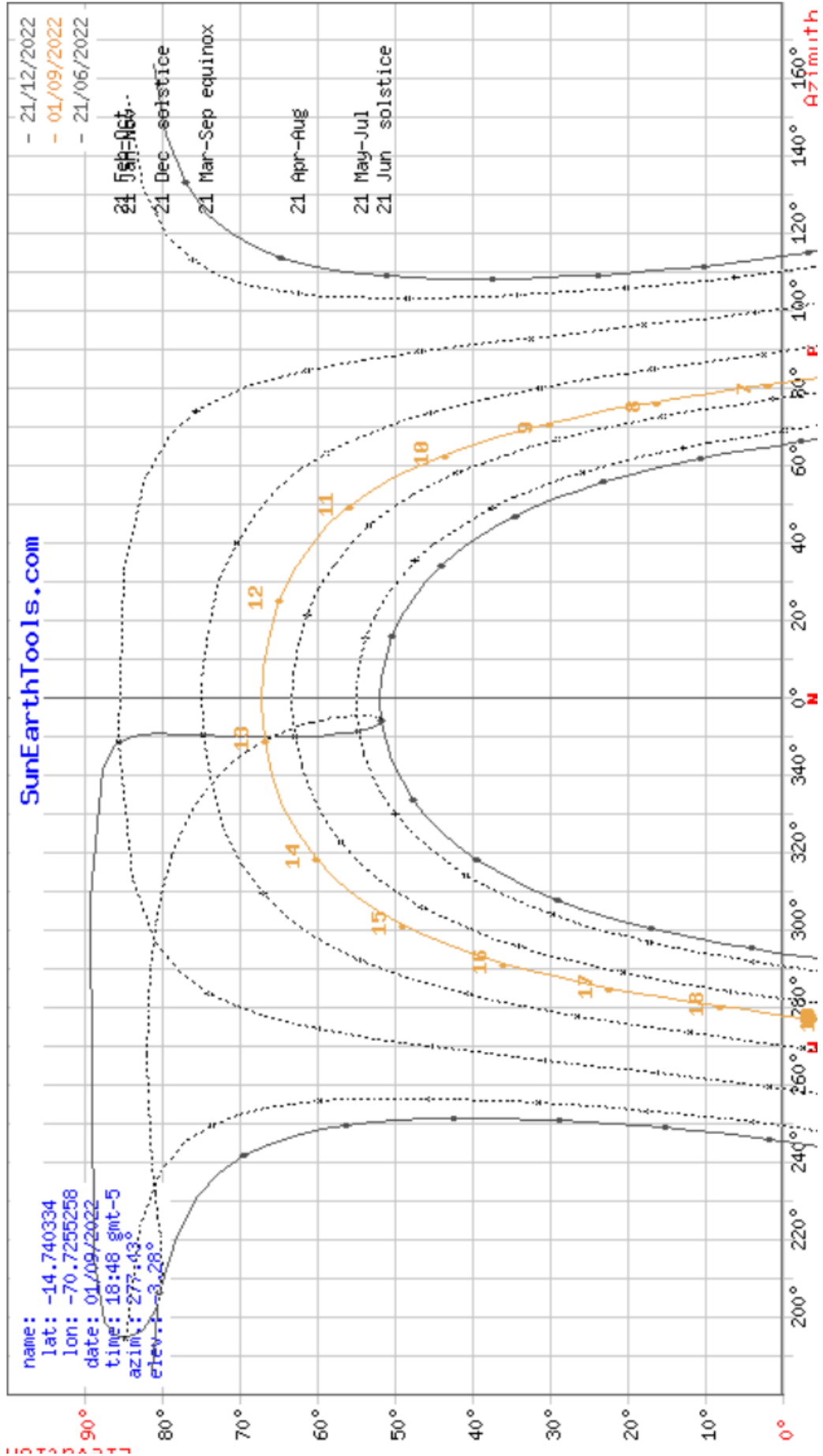
#### ELIJA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CALCULAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO

 Pequeño residencial <a href="#">Elegir</a>	 Comercial de tamaño mediano <a href="#">Elegir</a>	 Montado en tierra a gran escala <a href="#">Elegir</a>	 Flotando a gran escala <a href="#">Elegir</a>
---	---	---	--

[Abrir detalle](#)

WORLD BANK GROUP | ESMAP | SOLARGIS | [Condiciones de uso](#)









HOJA DE CALCULOS 2  
BOMBEO DE AGUA

DIMENSIONAMIENTO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO

Ahora es el momento de seleccionar el modelo de módulo fotovoltaico que se usará en el arreglo.  
Repita este proceso hasta encontrar el menor número posible de módulos que satisfagan las necesidades del sistema de bombeo.

INFORMACION DEL MODULO FOTOVOLTAICO	
Marca y modelo : LC80 - 12 M	
tipo	
Vmp	17.2 Voc: 22.4
Imp:	4.6 Isc: 5.0

27	Corriente del Proyecto (A)	28	Factor de reducción del módulo (decimal)	29	Corriente ajustada del proyecto (A)	30	Corriente Imp del módulo (A)	31	Módulos en paralelo (núm. entero)
26	15.0	0.9	16.67	4.6	4.6	4.6		4.0	

32	Voltaje nominal del sistema (V)	33	Voltaje Vmp del módulo (V)	34	Módulos en serie	35	Módulos en paralelo	36	Total de Módulos	37	Corriente Imp del módulo (A)	38	Voltaje Vmp del módulo (V)	39	Tamaño del arreglo fotovoltaico (W)
20	175	17.2	10.17	4	31	40.70	4.6	17.2	3220						

HOJA DE CALCULOS 3  
BOMBEO DE AGUA

AGUA BOMBADA Y REGIMEN DE BOMBEO.

40	Módulos en paralelo	41	Corriente Imp del módulo (A)	42	Voltaje Nominal del sistema (V)	43	Factor de rendimiento o del sistema (decimal)	44	Factor de conversión	45	Insolación del sitio (h-pico/día)	46	Factor de reducción del módulo (decimal)	47	Carga dinámica total (m)	48	Agua Bombeada (l/día)
31	4	30	4.6	20	175	0.57	16	367	2	7.5	0.95	40.602	118204.56				

Compare el régimen de bombeo (lh) de la casilla 51 con la capacidad de la fuente de agua. Si el régimen de bombeo es mayor que la capacidad de batería o bien amplía la fuente de agua. Esta es una decisión que se basa en el aspecto económico.

46	Factor de Agua Bombeada (l/día)	47	Carga Insolación del sitio (h-pico/día)	48	Régimen de bombeo de bombeo (lh)
48	118204.56	2	7.5	15760.61	

**Anexo 18.** Fotografía de ubicación del Centro Experimental Chuquibambilla



**Anexo 19.** Fotografía de ubicación del manantial denominado “Pujio” (coordenadas UTM: 314101.00 m E y 8369800.00 m S); en el Centro Experimental Chuquibambilla



**Anexo 20.** Fotografía del punto de aforo del manantial denominado “Pujio”  
(coordenadas UTM: 314101.00 m E y 8369800.00 m S); en el Centro Experimental  
Chuquibambilla

