



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



**EVALUACIÓN DE ASPERSORES EN EL SISTEMA DE
RIEGO TECNIFICADO DE LA LOCALIDAD
DE JIPATA, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ZENaida GUADALUPE JAMACHI FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE ASPERSORES EN EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO DE LA LOCALIDAD DE JIPATA, 2023

AUTOR

ZENAIDA GUADALUPE JAMACHI FLORES

RECuento DE PALABRAS

33320 Words

RECuento DE CARACTERES

166390 Characters

RECuento DE PÁGINAS

149 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.0MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 13, 2023 5:59 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 13, 2023 6:02 PM GMT-5

● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ph. D. ISIDORO ALBERTO PILARES HUÁLPO
Director de la unidad de investigación

Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

Dr. Edilberto Huáquisto Ramos
CIP 37478

Resumen



DEDICATORIA

Dedico esta Tesis con todo mi amor a dios todopoderoso, por haberme brindado salud, fortaleza y bendición para alcanzar mis metas en el trayecto de mi vida, en todo momento y durante mi formación profesional.

A mi gran maestra de la vida, mi madre Sofia Grimalda Flores Quijo, por cuidarme y orientarme desde donde ella esta, a ella por a ver sido mi mayor pilar durante todos estos años de estudio y enseñarme sin estar ella presente el valor de vida.

A mi padre, Mariano Jamachi Vilca por inculcarme, fortaleza y perseverancia ser mi guía y protector, espero que cuando leas esto recuerdes que gracias a ti soy una persona más fuerte y perseverante me enseñaste a levantarme en cada caída y ahora en nombre de ella y el mío puedo decirte gracias.

ZENAIDA GUADALUPE JAMACHI FLORES



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 poblado de Jipata por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de investigación y del mismo modo la comisión de representantes de riego.

Agradezco de manera especial y sincera al Dr. Edilberto Huaquisto Ramos, por aceptar la dirección de esta Tesis, por su paciencia, 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. A mis docentes, quienes, durante mi formación académica, me transmitieron sus conocimientos, lecciones y experiencias.

A todas las personas que estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida y cada uno de ellos ha sido pieza fundamental para aprender muchas actitudes aptitudes, por ser parte de mi experiencia como estudiante y bachiller.

Gracias a todos.

ZENAIDA GUADALUPE JAMACHI FLORES



ÍNDICE GENERAL

Pág.

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..... 17

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.2.1. Problema general..... 18

1.2.2. Problema específico 18

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.3.1. Hipótesis general..... 19

1.3.2. Hipótesis específicas 19

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 20

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 21

1.5.1. Objetivo general 21

1.5.2. Objetivos específicos 22



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	23
2.1.1.	Nivel internacional	23
2.1.2.	Nivel nacional	27
2.1.3.	Nivel local	29
2.2.	MARCO TEORICO	32
2.2.1.	Energía solar.....	32
2.2.2.	Energía fotovoltaica	33
2.2.3.	Panel fotovoltaico.....	34
2.2.4.	Orientación de los paneles	35
2.2.5.	Arreglo fotovoltaico	37
2.2.6.	Sistema de riego	38
2.2.7.	Sistema de riego por aspersión.....	39
2.2.8.	Componentes del sistema de riego por aspersión	42
2.2.9.	Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego por Aspersión	44
2.2.10.	Contenido de agua en el suelo.....	46
2.2.11.	Tipo de suelo	48
2.2.12.	Densidad aparente de suelo	50
2.2.13.	Capacidad de campo	53
2.2.14.	Punto de marchitez permanente del suelo.....	55
2.2.15.	Cálculo agronómico	57
2.2.16.	Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETo)	59
2.2.17.	Cálculo hidráulico	71



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.2.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	75
3.2.1.	Análisis documental	75
3.2.2.	Observación.....	75
3.2.3.	Internet	75
3.3.	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.3.1.	Tipo de investigación	76
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	76
3.4.1.	Instrumentos	77
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	77
3.5.1.	Población.....	77
3.5.2.	Muestra.....	78
3.5.3.	Muestreo.....	78
3.5.4.	Diseño de muestreo	78
3.5.5.	Variables de estudio	79
3.5.5.1.	Variable independiente:	79
3.5.5.2.	Variable dependiente:	79
3.5.6.	Delimitación temporal.....	79
3.5.7.	Delimitación espacial	79
3.6.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	79
3.6.1.	Evaluación de la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño	79



3.6.2. Análisis de los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego	82
3.6.3. Determinación del nivel de organización en el sistema de riego implementado	83

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS	84
V. CONCLUSIONES	126
VI. RECOMENDACIONES	128
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
ANEXOS	140

Área : Ciencias de la Ingeniería

Línea : Recursos hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de noviembre del 2023



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Densidad aparente de tipos de suelo	53
Tabla 2 Valores normales de capacidad de campo	55
Tabla 3 Valores normales de coeficiente de marchitez.....	57
Tabla 4 Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego	65
Tabla 5 Prueba de infiltración	84
Tabla 6 Estimación de carga	88
Tabla 7 Paneles solares	88
Tabla 8 Cedula y calendario de cultivo.....	89
Tabla 9 Cálculo del coeficiente de cultivo ponderado (kcp)	89
Tabla 10 Información metereológica	90
Tabla 11 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).....	90
Tabla 12 Cálculo de demanda de agua.....	91
Tabla 13 Balance hídrico y caudal de diseño.....	91
Tabla 14 Presión en hidrantes – turno 01	103
Tabla 15 Presión en hidrantes – turno 02.....	104
Tabla 16 Presión en hidrantes – turno 03.....	105
Tabla 17 Análisis de la varianza (SC tipo I)	111
Tabla 18 Prueba de normalidad - Shapiro-Wilks.....	111
Tabla 19 Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – distribución normal	112
Tabla 20 Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – t estudent	113
Tabla 21 Prueba homogeneidad de Tukey	114
Tabla 22 Prueba homogeneidad de Duncan.....	114



Tabla 23	Prueba homogeneidad de LSD Fisher.....	115
Tabla 24	Comparación de los datos técnicos de diseño.....	115
Tabla 25	Flujo de costos e ingresos del proyecto	118
Tabla 26	Resultados de la evaluación económica del proyecto con riego por aspersión	118
Tabla 27	Diferencia de costos en operación y mantenimiento	120



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Radiación directa, difusa y reflejada	33
Figura 2 Inclinación y orientación e los paneles solares.....	36
Figura 3 Conexiones en serie de un sistema fotovoltaico.....	38
Figura 4 Sistema de riego	44
Figura 5 Tipos de suelos	50
Figura 6 Sistema de impulsión de un sistema de agua para riego	73
Figura 7 Diagrama de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua	73
Figura 8 Mapa de ubicación de la zona de estudio	74
Figura 9 Curva de infiltración, tiempo acumulado vs infiltración promedio	85
Figura 10 Vista del reservorio de geomembrana	87
Figura 11 Características de los aspersores usados.....	107
Figura 12 Distanciamiento de los aspersores $D=15m$	108
Figura 13 Humedecimiento con la influencia del viento $D=30m$	108
Figura 14 Distribución de los colectores de la pluviometría	109
Figura 15 Distribución de los colectores de la pluviometría y prueba de funcionamiento	110
Figura 16 Fortalecimiento de capacidades en organización	122
Figura 17 Diagrama de organización de la localidad de Jipata.....	122
Figura 18 Fortalecimiento de capacidades en operación y mantenimiento de sistemas de riego	123
Figura 19 Fortalecimiento de capacidades en manejo y gestión de proyectos de riego	124



Figura 20.	Vista del equipo de impulsión	141
Figura 21.	Vista de la fuente de captación de agua - manantes	141
Figura 22.	Vista de la visita técnica realizada.....	141
Figura 23.	Vista del reservorio, parte del sistema de riego.....	142
Figura 24.	Vista de los materiales usados en la prueba de infiltración	142
Figura 25.	Vista de la prueba de infiltración.....	142
Figura 26.	Vista de la prueba de uniformidad.....	143
Figura 27.	Vista de la medición de las presiones en los diferentes puntos	143
Figura 28.	Vista de la medición del volumen de agua del aspersor.....	144
Figura 29.	Vista del fortalecimiento de capacidades en operación y mantenimiento	144
Figura 30.	Vista del fortalecimiento de capacidades en la organización de usuarios	144
Figura 31.	Vista de los materiales para la prueba de aspersores.....	145
Figura 32.	Vista del fortalecimiento de capacidades en organizaciones de riego.....	145
Figura 33.	Vista de la prueba de aspersores y los colectores de pluviometría.....	145
Figura 34.	Vista de la prueba de aspersores y la conexión al hidrante	146



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

EIA	: Evaluación de Impacto Ambiental
EPP	: Equipo de Protección Personal
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
MINAM	: Ministerio del Ambiente
NTP	: Norma Técnica Peruana
ONG	: Organismos no Gubernamentales
SIG	: Sistema de Información Geográfica
UNAP	: Universidad Nacional del Altiplano Puno



RESUMEN

La presente investigación se realizó en la localidad de Jipata; en vista que se tiene los escasos de agua en toda la región de Puno, para lo cual se requiere la optimización del mismo; así poder extender el área agrícola; la optimización del riego en medio de la escasez de agua y la expansión de áreas agrícolas. Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema de bombeo con energía fotovoltaica para riego tecnificado en la localidad de Jipata, 2022. La investigación es no experimental de corte transversal. Para lo cual se analizó la eficiencia de los aspersores según su diseño. Los resultados indicaron que los aspersores operaron por debajo de las expectativas, con una eficiencia del 50% para el primero y un 30% para el segundo, ambos a una presión de 4 bares. Además, se encontró que los coeficientes de uniformidad estaban por debajo del 100%, según los aspersores evaluados SAM-UK-05 y SAM-UK-04 en donde el valor de p-valor es $0,0013 < 0,05$; es decir que hay diferencia entre la uniformidad, afectado por el factor viento. Se realizó un análisis económico del proyecto de riego por aspersión a lo largo de 10 años. Los resultados de la evaluación financiera demostraron que el proyecto es viable, con un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 6,003 soles, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 25%, y un Coeficiente Beneficio-Costo (B/C) de 1.23. Estos indicadores sugieren que el proyecto puede generar un retorno financiero positivo y beneficios adicionales en comparación con sus costos. Se abordó la organización y gestión del sistema de riego. Se enfatizó la importancia de establecer una organización o comité de riego dedicado al manejo, operación y mantenimiento efectivo del sistema.

Palabras clave: Eficiencia, Gestión, Organización, Riego y Uniformidad.



ABSTRACT

This research was conducted in the town of Jipata; in view of the water shortage in the entire region of Puno, for which the optimization of the same is required; so as to extend the agricultural area; the optimization of irrigation in the midst of water scarcity and expansion of agricultural areas. With the objective of evaluating the efficiency of the pumping system with photovoltaic energy for technified irrigation in the town of Jipata, 2022. The research is non-experimental and cross-sectional. For which the efficiency of the sprinklers was analyzed according to their design. The results indicated that the sprinklers operated below expectations, with an efficiency of 50% for the first one and 30% for the second one, both at a pressure of 4 bar. In addition, it was found that the uniformity coefficients were below 100%, according to the evaluated sprinklers SAM-UK-05 and SAM-UK-04 where the p-value is $0.0013 < 0.05$; that is, there is a difference between the uniformity, affected by the wind factor. An economic analysis of the sprinkler irrigation project was carried out over 10 years. The results of the financial evaluation showed that the project is viable, with a Net Present Value (NPV) of S/. 6,003 soles, an Internal Rate of Return (IRR) of 25%, and a Benefit-Cost Ratio (B/C) of 1.23. These indicators suggest that the project can generate a positive financial return and additional benefits compared to its costs. The organization and management of the irrigation system was addressed. The importance of establishing an irrigation organization or committee dedicated to the effective management, operation and maintenance of the system was emphasized.

Keywords: Efficiency, Management, Organization, Irrigation, and Uniformity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En un contexto global donde la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos naturales se han vuelto imperativos cruciales, la agricultura moderna está evolucionando hacia prácticas más tecnificadas y sostenibles. En este contexto, la incorporación de sistemas fotovoltaicos de bombeo para riego se ha convertido en una opción atractiva para optimizar el uso del agua y la energía en terrenos agrícolas. La localidad de Jipata, en el año 2022, se encuentra inmersa en este cambio de paradigma agrícola, donde la adopción de tecnologías fotovoltaicas para el riego tecnificado promete mejorar tanto la eficiencia de la producción como la gestión de los recursos naturales.

Esta investigación se enfoca en la evaluación integral del sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata durante el año 2022. A lo largo de este estudio, se examinarán diferentes aspectos cruciales, que van desde la eficiencia energética y la gestión del agua hasta el impacto económico y ambiental de la implementación de estos sistemas. Además, se considerarán las particularidades geográficas, climáticas y agronómicas de la región, que influyen en la viabilidad y el rendimiento de esta tecnología.

El propósito fundamental de esta investigación es proporcionar un análisis detallado y basado en datos concretos sobre la efectividad y la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos de bombeo en la agricultura de Jipata en el presente año. Los hallazgos de este estudio no solo beneficiarán a los agricultores y las autoridades locales, brindándoles información crucial para la toma de decisiones informadas, sino que



también contribuirán al cuerpo de conocimientos en el campo de la agricultura sostenible y la energía renovable.

A medida que avanzamos hacia un futuro en el que la agricultura inteligente y sostenible es esencial para la seguridad alimentaria y la conservación del medio ambiente, esta investigación se convierte en un paso significativo hacia la comprensión y la implementación efectiva de sistemas fotovoltaicos de bombeo para riego en Jipata y, por extensión, en regiones agrícolas similares en todo el mundo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Perú, los gobiernos locales, especialmente en la provincia de Puno, han implementado políticas orientadas a promover la autonomía política y económica, con el fin de impulsar el crecimiento socioeconómico de la población beneficiaria. Para lograr este propósito, se han establecido Programas de Inversión Pública (PIP) en distintos ámbitos y con características específicas, destinados a abordar los desafíos sociales y económicos que enfrenta la comunidad.

Sin embargo, en el caso del proyecto de implementación de un sistema de riego por aspersión en la comunidad de Jipata, ubicada en el distrito de Moho, se han identificado deficiencias notables en su operación y mantenimiento durante el segundo año de ejecución. Además, se ha constatado que los impactos socioeconómicos proyectados durante la fase de formulación del proyecto, detallados en la matriz del marco lógico, no se están materializando en el plazo establecido. Esta situación podría comprometer el logro del objetivo general del proyecto a lo largo de su vida útil.

Por tanto, se hace imperativa la realización de una evaluación ex post a mediano plazo, con el propósito de identificar áreas de mejora y proporcionar recomendaciones



que permitan optimizar la gestión y el desempeño del proyecto de inversión. Cabe destacar que, en la región de Puno, la implementación de sistemas de riego por aspersión alimentados con energía solar es aún incipiente, lo que ha motivado la realización de una investigación al respecto.

La implementación de sistemas fotovoltaicos de bombeo para riego tecnificado en Jipata es una respuesta a la escasez de agua y al aumento de las áreas agrícolas. Sin embargo, para que esta tecnología sea efectiva y sostenible, es fundamental evaluar su eficiencia técnica, su viabilidad económica y la organización que la respalda. Estos aspectos constituyen el núcleo del problema que esta investigación se propone abordar en beneficio de la agricultura y el desarrollo sostenible en la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

Para el desarrollo de la presente investigación se ha planteado el siguiente interrogante:

¿Cuál es la eficiencia técnica del sistema de riego por aspersión, suministrada con energía fotovoltaica; existe una relación directa con el nivel de organización en la localidad de Jipata?

1.2.2. Problema específico

¿Cuál es la eficiencia técnica del sistema fotovoltaico de bombeo en términos de la cantidad de agua aplicada en relación con la demanda real de los cultivos en la localidad de Jipata?



¿Cuáles son los costos de operación y mantenimiento asociados con la implementación y el funcionamiento del sistema fotovoltaico de bombeo para riego en terrenos agrícolas de Jipata?

¿Cómo está organizado y gestionado el sistema de riego implementado en la localidad de Jipata, y en qué medida esta organización influye en la eficacia del sistema?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Existe una diferencia significativa en la eficiencia del sistema de bombeo con energía fotovoltaica para riego tecnificado entre los distintos diseños implementados en la localidad de Jipata en 2022.

1.3.2. Hipótesis específicas

Existe una diferencia significativa en la eficiencia técnica y uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño en el sistema de bombeo con energía fotovoltaica para riego tecnificado en la localidad de Jipata en 2022.

Los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego varían significativamente entre el sistema de bombeo con energía fotovoltaica y otros sistemas de riego convencionales en la localidad de Jipata en 2022.

El nivel de organización en el sistema de riego implementado muestra diferencias significativas entre el sistema de bombeo con energía fotovoltaica y otros sistemas de riego convencionales en la localidad de Jipata en 2022.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación propuesta, "Evaluación del sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata, 2022", tiene una justificación sólida y aborda una problemática de relevancia en la localidad de Jipata.

En la localidad de Jipata, al igual que muchas otras regiones, se enfrenta a una escasez de recursos hídricos y energéticos para el riego agrícola (King, 2021). La gestión ineficiente del agua ha llevado al derroche de este recurso vital, lo que a su vez ha generado problemas de distribución (Li et al., 2022). Esta situación no solo pone en peligro la producción agrícola, sino que también tiene un impacto negativo en la comunidad local que depende de esta actividad para su subsistencia (Conrad & Rondeau, 2020; Willaarts et al., 2014).

Ante la creciente escasez de agua y la necesidad de optimizar su uso, el riego tecnificado se presenta como una solución viable y sostenible (Ashby, 2023; Klemeš, 2022). La implementación de sistemas fotovoltaicos de bombeo para riego tecnificado ofrece la oportunidad de mejorar significativamente la eficiencia en el uso del agua y la energía (Deambi, 2016; Hahn et al., 2023). Sin embargo, es esencial evaluar la eficacia y la viabilidad de esta tecnología en el contexto específico de Jipata.

Esta investigación representa una valiosa contribución al conocimiento científico en el campo de la agricultura y la energía renovable (Dwivedi & Dwivedi, 2023). A pesar de que existen estudios sobre sistemas de riego y energía fotovoltaica, la evaluación detallada de su aplicación en Jipata es escasa (Volpi et al., 2006). Esta investigación llenará este vacío y proporcionará información relevante para futuros proyectos y decisiones en la región.



Los beneficios de esta investigación se extienden a la localidad de Jipata; la mejora de la eficiencia en el riego de cultivos tendrá un impacto directo en la productividad agrícola al garantizar un suministro adecuado de agua (Eslamian & Eslamian, 2023a; Gupta et al., 2023). Además, reducirá los costos de producción y promoverá una agricultura sostenible, lo que a su vez mejorará la calidad de vida de los agricultores locales (Goyal, 2014).

Esta investigación se llevará a cabo en un enfoque descriptivo no experimental y se centrará en los niveles de eficiencia técnica, económica y social del sistema de bombeo con energía fotovoltaica para riego tecnificado en Jipata. Los problemas de investigación abordados incluyen la eficiencia del sistema, el análisis comparativo con sistemas de riego convencionales y la sostenibilidad del sistema fotovoltaico de bombeo (Klemeš, 2022; Li et al., 2022).

Esta investigación aborda una problemática crítica en la localidad de Jipata relacionada con la escasez de agua y energía para la agricultura (Kerr, 2017). Su enfoque en el uso de tecnologías fotovoltaicas para mejorar el riego agrícola promete beneficios significativos para la comunidad agrícola y contribuirá al conocimiento científico en esta área (Pennington & Cech, 2021; Revueltas et al., 2020).

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del sistema de bombeo con energía fotovoltaica para riego tecnificado en la localidad de Jipata, 2022.



1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño

Analizar los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego.

Determinar el nivel de organización en el sistema de riego implementado



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Al respecto, se han realizado estudios y muchos proyectos acerca de evaluación de sistemas de riego por aspersión, a fin de realizar el manejo y gestión de recursos hídricos o estudios similares, a nivel local y/o regional que se detallan a continuación:

2.1.1. Nivel internacional

Hospital and González (2021), elaboraron un estudio titulado “Diseño de un sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca”, con el propósito de solucionar la escasez de agua en esta localidad. La investigación fue básica con enfoque cuantitativo y diseño propositivo. La muestra estuvo conformada por un conjunto de terrenos agrícolas de la zona rural de Cundinamarca. El diseño propuesto permitirá optimizar el sistema de riego utilizando elementos adecuados que garanticen la sostenibilidad y gasto del agua en la localidad mencionada.

Ruiz (2021), desarrolló un trabajo con la finalidad de presentar el modelo energético de un sistema fotovoltaico de bombeo que, en beneficio de los agricultores de la Localidad de Aguada de Pablo, Atlántico. El estudio fue básico con diseño no experimental con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, correlacional. Se utilizó el software HOMER Energy con el fin de realizar el dimensionamiento y la selección de componentes del sistema de bombeo, así como del sistema de bombeo fotovoltaico, con las estrategias de monitoreo, control, operación y mantenimiento para evaluar el costo – beneficio. Se concluyó



que el modelo es perfectamente factible en la medida en que se alcanzaran altos niveles de eficiencia.

Jaimes and Alvarez (2020), elaboraron la investigación “Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico, para distrito de riego en Llano Grande, Girón”, con el propósito de ejecutar los parámetros dimensionales de un sistema de bombeo que permita solucionar la problemática de la escasez de agua para el riego de los terrenos agrícolas en la localidad de Llano Grande. La investigación fue básica con nivel descriptivo, enfoque cualitativo y diseño no experimental, transversal. En la investigación se identificaron las dificultades de los sistemas de riego, su sostenibilidad, etc. De acuerdo a los resultados se propone la utilización de bombas en a una altura de 92,2 metros y un caudal de 314 m³ /día para satisfacer la demanda, se necesita una potencia pico a instalar de 40,26 kW. Se concluyó que la implementación del sistema propuesto permitirá solucionar la escasez de agua para satisfacer la demanda en esta localidad.

Vargas and Torres (2019), desarrollaron un estudio con el fin de proponer un modelo de producción de energía utilizando sistemas solares fotovoltaicos en un municipio. La investigación fue básica, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño no experimental de corte transversal. Se realizó la investigación para el funcionamiento del sistema que se propone teniendo en cuenta el consumo energético, la variación climática, los aspectos técnicos, los informes financieros. El método de estudio se basó en la factibilidad en la implementación del sistema fotovoltaico como fuente de energía. También se consideraron la demanda energética, el costo de KW/h. Se concluyó que la



ejecución del modelo propuesto se obtienen mejores resultados en costos y beneficios sin destruir el medio ambiente.

Ayala (2019), presentó una investigación con el objetivo de implementar estrategias y modelos que permitan identificar y mejorar el consumo energético en viviendas unifamiliares mediante el uso de paneles fotovoltaico de autoconsumo, considerando los perfiles de producción de la instalación mencionada, el tipo de residencia y la ubicación de la instalación fotovoltaica. Se concluyó que la base de datos NREL es la más completa y corresponde a varias localidades por lo que se concluyó que utilizando los parámetros meteorológicos es posible implementar el método propuesto.

Franco (2018), desarrollaron una investigación titulada “Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo”, con el objetivo de evaluar el nivel de eficiencia del método de riego por goteo en la parroquia Parroquia Ignacio Flores, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. La investigación fue teórica con nivel descriptivo, diseño no experimental de corte transversal, enfoque cualitativo. Se tomaron bloques con arreglo factorial 3 x 2 con 3 réplicas. Asimismo, se aplicó la prueba de significación al 5%. Los resultados indican que el mejor tratamiento A1B2 (cinta Hydrodrip con una distancia entre laterales 1.00 m). Con respecto al análisis estadístico de la variable de Coeficiente de uniformidad, no se encontraron resultados significativos.

Arias and Martínez (2019), desarrollaron un estudio con el propósito de evaluar la viabilidad de para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la localidad de Boyacá, Colombia. La investigación fue teórica, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo. Se recopiló datos en el lugar de estudio y se



realizó la revisión documental de páginas científicas. Se concluyó que técnicamente es posible la implementación del mencionado sistema que permitirá de abastecer de energía requerida para el ambiente mencionado.

Hernández et al. (2018), presentaron una investigación con el propósito de proponer alternativas más limpias y de poco impacto ambiental, determinando el potencial del uso de energía solar para calentar agua y generar energía eléctrica. La investigación fue básica, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, correlacional. La investigación se realizó en la Sede Regional San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el 2018. Se precisó la cantidad de energía eléctrica producida y las temperaturas alcanzadas, además de los sistemas fotovoltaicas y técnicos instalados mediante un registro computarizado. Asimismo, se calculó la cantidad de dióxido de carbono que se presenta en la atmosfera, el ahorro energético y la energía consumida. Mediante los sistemas de energía solar se logra un autoabastecimiento de energía eléctrica con el 40% de consumo total de la unidad productiva. Se generó un incremento de 25% en promedio de energía con el correspondiente ahorro económico. Se concluyó que los mencionados sistemas hacen posible la disminución, la dependencia de los combustibles fósiles y mejoran la eficiencia económica y productiva en las unidades de producción agropecuaria en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

González and Lanuza (2018), elaboraron un estudio con la finalidad de proponer un sistema de solar de bombeo fotovoltaico para la finca concepción del Municipio de San Nicolas en el Departamento de Estelí en el año 2017. La investigación fue propositiva, con nivel descriptivo, enfoque cualitativo y diseño no experimental, transversal. En la propuesta se buscó disminuir la producción de



emisiones de CO₂ por la utilización de las bombas accionadas con combustibles, el ahorro económico porque no se utilizó energía eléctrica convencional.

2.1.2. Nivel nacional

Tirado (2021), elaboró un estudio titulado “Evaluación de un sistema fotovoltaico de bombeo para riego por aspersión de áreas verdes urbanas en la localidad de Carabayllo”, para hacer una evaluación de las características y aspectos técnicos y económicos de implementación de un sistema fotovoltaico de bombeo para riego en la localidad mencionada. El estudio fue teórico con nivel descriptivo y diseño no experimental, transversal. De acuerdo a los resultados se concluyó que una mejor gestión del agua es posible implementando un sistema de riego fotovoltaico.

Dávalos (2019), presentó un trabajo titulado “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca”, con el objetivo de diseñar un sistema de riego fotovoltaico para suministrar agua a un terreno de una hectárea para el sembrío de yuca en el mencionado caserío, teniendo en cuenta que el actual sistema de bombeo genera altos costos de operación y mantenimiento además de presentar fuertes impactos ambientales negativos. En tal sentido se hace necesario de utilizar energía solar fotovoltaica para el bombeo de agua con fines de riego agrícolas. La investigación fue teórica con nivel descriptivo, y diseño no experimental de corte transversal. Se hizo la selección de 16 paneles fotovoltaicos del tipo LC100-M36, 8 paneles en serie y 2 en paralelo para satisfacer la potencia de generación de 1,72 kW. La evaluación económica resultó con un VAN de \$ 15 976,67 y un TIR 9%.



Gómez (2019), presentó una investigación con el propósito de simular el comportamiento de un sistema fotovoltaico considerando los datos de potencia generada, irradiación y temperatura de la celda. El estudio fue básico, propositivo, correlacional no experimental, utilizando métodos computacionales de limpieza se determinará el alcance del método propuesto en esta investigación. Se concluyó que es posible hacer simulaciones en tiempos no establecidos en el sistema propuesto.

Sirlopu and Vuves (2018), desarrollaron un trabajo con el fin de diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico que pueda satisfacer la demanda de agua para el riego de los cultivos de espárrago en la Provincia de Ferreñafe – Departamento de Lambayeque. La investigación fue básica de nivel descriptiva, enfoque cualitativo, y diseño no experimental, transversal. Se hizo una estimación de la demanda del agua determinada previamente. Se estimaron los cálculos requeridos para el sistema de bombeo para la implementación de un sistema de riego tecnificado. Se concluyó que el sistema de irrigación del cultivo de espárragos por medio de una energía renovable si es una buena alternativa en el fundo Bobadilla en la provincia de Ferreñafe

Peralta (2018), elaboró una investigación con el fin de realizar la evaluación técnica y económica de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para los terrenos agrícolas de las zonas rurales de Arequipa. La investigación fue básica de nivel descriptiva, enfoque cualitativo y diseño no experimental de corte transversal. Se instaló una bomba solar fotovoltaica sumergible con el fin de impulsar el agua desde una desviación del río Majes hasta el reservorio superior para el riego tecnificado de los viñedos. Los parámetros climáticos fueron medidos



utilizando una estación meteorológica que mide la irradiación solar, la humedad, la temperatura y la velocidad del viento. Se concluyó que con la ejecución de esta propuesta se obtendrán mejores resultados respecto de la eficiencia y eficacia en los sistemas de riego.

Senmache (2018), presento un trabajo titulado “Implementación de un sistema de riego por goteo alimentado por energía solar fotovoltaica para el cultivo de plantas de palta”, con el objetivo de suministrar suficiente agua a los terrenos agrícolas donde se produce palta. El diseño fue teórico, con nivel descriptivo y diseño no experimental, estudio de caso. En la investigación se analiza la utilización de estrategias de máxima captación y energía. Se considera que el suelo es la principal fuente de acumulación reduciendo el uso de baterías y las dimensiones de las fuentes de generación. Se propone un sistema de riego que corresponde a un número variable de sectores con el fin de adaptar la demanda energética. Se concluyó que la implementación de riego por goteo utilizando energía solar fotovoltaica, optimiza los procedimientos de riego en las parcelas agrícolas de esta localidad.

2.1.3. Nivel local

Choque (2022), desarrolló un trabajo con el fin de analizar la cantidad de energía eléctrica que se requiere para cubrir los requerimientos agrícolas en la región Puno. El estudio fue teórico de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, transversal. Se le determinó que la energía eléctrica no abastece a la totalidad de localidades rurales alejadas que tienen potencial ganadero y no pueden aplicar diversas tecnologías ganaderas como es el caso de ordeno mecánico para mejorar la producción de leche en este escenario. El estudio



se hizo en la Comunidad de Hanaiquia de la provincia de Azángaro. Se diseñó el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la potencia de la máquina de ordeño mecánico para una capacidad de 550 W, que permite ordeñar en menos tiempo leche sin agentes contaminantes, lo cual significa un valor agregado a la leche. Para la implementación se utilizó un módulo fotovoltaico de 405 W, un inversor cargador de 1600 W y dos baterías de 100 Ah. Se concluyó que el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica permite generar energía eléctrica suficiente para que haga funcionar las máquinas de ordeño mecánico.

Vilca (2021), presentó un estudio titulado “Estudio Para el Bombeo de Agua Mediante la Energía Solar Fotovoltaica Aplicado al Riego en el Sector Ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo”, la investigación fue teórica, de nivel descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. Se consideró una superficie de aproximadamente 2 hectáreas y media para el cultivo de alfalfa. La necesidad de agua de cultivo es de 95 mm, mientras que la demanda es de 126.88 mm. De acuerdo con los resultados se indica que el diseño hidráulico comprende la línea de conducción, los laterales de riego, las tuberías secundarias, el caudal de riego y el caudal total. Se identificó una relación mínima de $5W \cdot h/m^2$ -día, por lo que se requiere un total de 18 paneles solares con una potencia de 320w.

Torres et al. (2020), elaboraron una investigación con el fin de analizar el funcionamiento de un sistema fotovoltaico con conexión a la red eléctrica instalado en el pabellón administrativo de la Universidad Nacional de Juliaca. La investigación fue básica de nivel descriptivo, enfoque cualitativo y diseño no experimental. En la investigación se hace un análisis sobre el desempeño del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en el pabellón administrativo de



la Universidad de Juliaca. Se observan 12 módulos fotovoltaicos de 250, con una potencia de 3kW conectado a un inversor de 3kW. Se encontró que los valores de productividad especifican final mensual oscilo de 139,4 a 167,8 kWh/k, sin considerar los registros de los meses de marzo y octubre, con respecto a la tasa de desempeño, los valores oscilaron de 79,6% a 82,2 %, con media de 81,2%. El valor de la irradiación media diaria incidente sobre el plano del generador registró en torno de 6,12 kW/h, con una productividad diaria media de 4,97 kWh/k. De acuerdo a la información obtenida se concluyó que el sistema presenta un desempeño excelente.

Choque (2018) desarrolló una investigación con la finalidad de realizar una evaluación sobre el uso de energía solar fotovoltaica y eólica que permita impulsar un sistema de abastecimiento de agua en el distrito de Ilave. Se encontró que la radiación solar en promedio es de 6.94 kWh/m² /día y la velocidad del viento promedio anual de 3.01 m/s. Se concluyó que la generación de energía eólica no es factible en esta localidad.

Jara and Ramos (2018), la investigación tuvo como objetivo diseñar y evaluar la viabilidad del prototipo automatizado de bombeo de agua para el uso de riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica, la investigación se ha realizado en el centro poblado de Ichu, en donde se han realizado el cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de cebolla de 4.56 mm/día para un área de cultivo de 200 m², considerando una eficiencia del 90 % y un caudal de 0.46 lts/seg, tiempo de riego de 1.14 h/día, con tubería principal de 29.4 mm y 12 laterales de 17.4 mm. El cálculo de la radiación mensual es de 5.76 horas-pico/día, con un régimen de bombeo de 3.23 lt/min; paneles



cristalinos SIEMEN de 12 V y 4.83A, en donde indica que se requiere 04 paneles de 231.84 watts. El sistema funciona con el micro controlador Arduino UNO, con una programación lógica C/C++, que operara el sistema. La instalación tiene una vida útil de 20 años. El costo del sistema de riego fotovoltaico es de S/5,787.70 soles y el sistema convencional a electricidad es de S/11,247.16. Concluyendo que el prototipo fotovoltaico es viable a nivel de costos y a nivel de uso de energía limpia de sol que es al 100% automatizado dando su utilidad como un aspecto positivo para una familia rural.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Energía solar

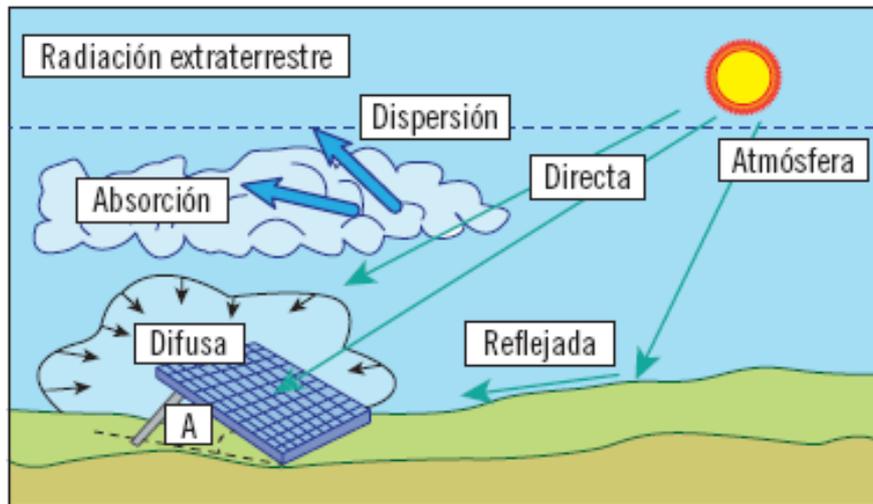
La energía solar se origina a partir de la captación del calor emitido por el sol, y puede ser empleada tanto para la producción de electricidad como para el calentamiento de diversos usos. La intensidad de esta fuente de energía está sujeta a variaciones debido a diversos factores, como la estación del año, las condiciones climáticas y la ubicación geográfica (Volpi et al., 2006).

Cuando la energía solar atraviesa el espacio y colisiona con la atmósfera y la superficie terrestre, solo aproximadamente un 34% del total de energía logra alcanzar el globo terráqueo a través de la atmósfera, lo que implica que no toda la energía solar incide en la Tierra (Kumar & Prajapati, 2023).

No obstante, es fundamental destacar que, dado que esta fuente de energía es considerada "verde" o renovable, estamos contribuyendo significativamente a combatir el grave problema del calentamiento global que afecta a nuestro planeta en la actualidad (Klemeš, 2022).

Figura 1

Radiación directa, difusa y reflejada



Fuente: Kumar and Prajapati (2023)

2.2.2. Energía fotovoltaica

Esta tecnología se basa en el principio del efecto fotoeléctrico, que implica la conversión de la energía solar en electricidad. Para lograrlo, se emplean materiales que tienen la capacidad única de absorber fotones y liberar electrones. Las células fotovoltaicas son sometidas a un proceso químico especial con el propósito de crear una estructura con polos eléctricos positivo y negativo. Cuando la luz solar incide en la célula, esta expulsa electrones del material semiconductor, los cuales son posteriormente recolectados, generando una corriente eléctrica (Ashby, 2023).

La electricidad resultante puede ser utilizada para alimentar dispositivos, pero típicamente, se agrupan múltiples células fotovoltaicas interconectadas en un módulo que se integra en una estructura más grande. Para crear una instalación solar a gran escala, se conectan varios de estos módulos en un campo solar. Los



paneles solares generan electricidad en forma de corriente continua y pueden ser conectados en serie para obtener el voltaje deseado (Cruz & Núñez, 2014).

2.2.3. Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico, también conocido como panel solar, es un dispositivo diseñado para aprovechar la energía radiante del sol y convertirla en electricidad utilizable (Kumar & Prajapati, 2023). Estos paneles consisten en una serie de células fotovoltaicas interconectadas que trabajan en conjunto para capturar la luz solar y transformarla en corriente eléctrica de corriente continua (CC) (AI, 2023).

Cada célula fotovoltaica en un panel está fabricada generalmente con materiales semiconductores, como el silicio, que tienen la propiedad de liberar electrones cuando son impactados por fotones de luz solar. Estos electrones liberados crean una corriente eléctrica que puede ser recolectada y utilizada para alimentar dispositivos eléctricos o ser almacenada en baterías para su uso posterior (Volpi et al., 2006).

Los paneles fotovoltaicos se disponen en módulos, y estos módulos pueden conectarse entre sí para satisfacer las necesidades de energía específicas del mercado y de los equipos que se desean alimentar. Dependiendo de la configuración, se pueden crear sistemas solares de diferentes tamaños y capacidades, desde pequeños paneles utilizados para cargar dispositivos móviles hasta grandes matrices solares utilizadas en aplicaciones industriales o para alimentar hogares y edificios (Hahn et al., 2023).

Los paneles fotovoltaicos son componentes esenciales en la generación de energía solar (Deambi, 2016), permitiendo la conversión de la luz solar en electricidad para una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños dispositivos electrónicos hasta sistemas de energía a gran escala (Kumar & Prajapati, 2023).

2.2.4. Orientación de los paneles

Los paneles solares, utilizados para capturar la energía del sol y convertirla en electricidad, deben estar orientados de manera óptima hacia la fuente de radiación solar, es decir, el sol. Dado que la mayor parte de la energía solar llega en una trayectoria directa desde el sol, es esencial que los paneles estén alineados adecuadamente para aprovechar al máximo esta radiación (Kumar & Prajapati, 2023).

Para lograr esta alineación, se utilizan dos parámetros clave: el azimut y la inclinación.

Azimut: Este término se refiere a la dirección en la que deben orientarse los paneles solares. En regiones del hemisferio norte, se apuntan hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur se orientan hacia el norte. Esta orientación permite que los paneles reciban la mayor cantidad de radiación solar durante el día, ya que el sol parece moverse desde el este hacia el oeste en el cielo. Ajustar el azimut correctamente garantiza que los paneles estén "mirando" al sol durante la mayor parte del día (Klemeš, 2022).

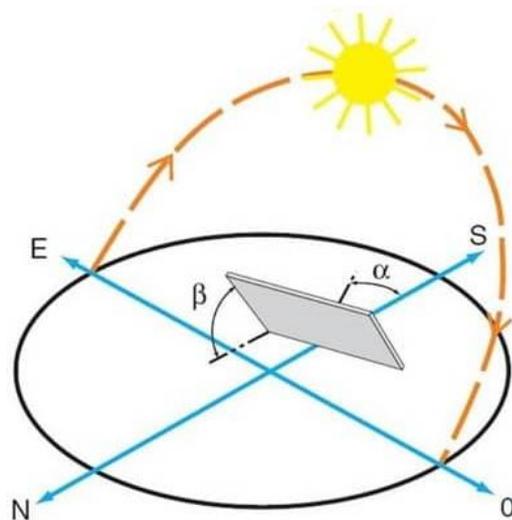
Inclinación: La inclinación se refiere al ángulo en el que se colocan los paneles en relación con la horizontal. Este ángulo se ajusta para aprovechar al máximo la radiación solar durante todo el año. La inclinación ideal varía según la

ubicación geográfica y la estación del año. En el solsticio de verano, cuando el sol se encuentra en su punto más alto en el cielo, los paneles se inclinan menos en relación con la horizontal. En el invierno, cuando el sol está más bajo en el cielo, los paneles se inclinan más para capturar la mayor cantidad de luz solar posible. En algunas instalaciones, se pueden ajustar los ángulos de inclinación dos veces al año para optimizar la eficiencia energética tanto en verano como en invierno (Klemeš, 2022).

La eficiencia de un sistema de paneles solares depende en gran medida de cómo estén orientados y posicionados en relación con la posición del sol a lo largo del día y el año. El ajuste correcto del azimut y la inclinación garantiza que los paneles aprovechen al máximo la energía solar disponible, maximizando así la producción de electricidad y el rendimiento económico de la instalación (Deambi, 2016).

Figura 2

Inclinación y orientación e los paneles solares



β = ángulo de inclinación de las placas solares
 α = acimut = ángulo desplazada respecto al Sur

Fuente: Al (2023)



2.2.5. Arreglo fotovoltaico

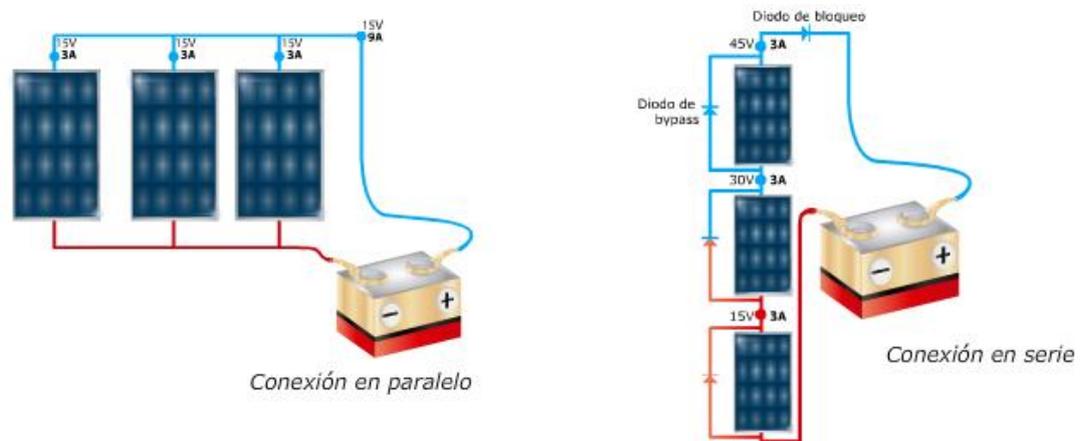
Un arreglo fotovoltaico es un sistema compuesto por múltiples módulos solares conectados eléctricamente en paralelo. La interconexión en paralelo permite que estos módulos trabajen en conjunto para generar electricidad a partir de la radiación solar incidente (Kumar & Prajapati, 2023). Las características eléctricas del arreglo son comparables a las de los módulos individuales que lo componen, aunque los valores de potencia, corriente y tensión pueden variar en función del número de módulos interconectados en paralelo (Ashby, 2023).

Un conjunto solar, en este contexto, representa una agrupación más amplia de arreglos fotovoltaicos que se encuentran interconectados también en paralelo. Estos conjuntos solares comparten las mismas características eléctricas, siendo análogas a las de los arreglos individuales (Hahn et al., 2023). La potencia generada, la corriente producida y la tensión generada pueden variar según la cantidad de arreglos interconectados en paralelo en el conjunto (Kumar et al., 2023).

Un arreglo fotovoltaico es la unidad básica de paneles solares interconectados en paralelo, mientras que un conjunto solar se refiere a una colección más grande de estos arreglos trabajando juntos para generar electricidad a partir de la luz solar. Ambos conceptos son fundamentales en la construcción de sistemas solares para aprovechar la energía solar de manera eficiente (Hahn et al., 2023).

Figura 3

Conexiones en serie de un sistema fotovoltaico



Fuente: Deambi (2016)

2.2.6. Sistema de riego

Un sistema de riego se define como un conjunto de componentes y elementos que trabajan en conjunto para llevar el agua desde su fuente hasta el área de cultivo, garantizando una distribución eficiente del recurso hídrico (Manganaris et al., 2023). Esta infraestructura, junto con la organización responsable de su gestión y mantenimiento, y el sistema de producción agrícola que depende del riego, son los tres componentes clave de un sistema de riego integral (Burchardt & Laak, 2023).

Infraestructura de riego: Este componente incluye canales, tuberías, bombas, válvulas y otros elementos que conforman el sistema físico de transporte y distribución del agua (Goyal et al., 2017). Estos elementos son esenciales para llevar el agua desde su origen, como fuentes naturales o reservorios, hasta los campos de cultivo. La calidad y eficiencia de esta infraestructura son cruciales para garantizar un suministro constante y adecuado de agua a las parcelas agrícolas (Ravikumar, 2022).



Organización de gestión y mantenimiento: Un sistema de riego efectivo requiere una organización responsable de su administración y mantenimiento. Esto implica la planificación de las operaciones de riego, la asignación de recursos hídricos, la programación de mantenimiento de la infraestructura y la gestión de conflictos relacionados con el agua (Goyal, 2014). Una gestión adecuada es fundamental para garantizar el uso sostenible del agua y la operación continua del sistema.

Sistema de producción agrícola de regadío: Este componente se refiere a las prácticas agrícolas que dependen del riego, como la selección de cultivos, la programación de riego, la aplicación de fertilizantes y pesticidas, y la gestión de la humedad del suelo (Eslamian & Eslamian, 2023a). La disponibilidad de un suministro constante de agua permite a los agricultores optimizar sus métodos de cultivo y obtener rendimientos más consistentes y productivos (Goyal, 2014).

La interacción adecuada entre estos tres elementos es esencial para el éxito de un sistema de riego. La planificación y coordinación efectiva entre la infraestructura, la gestión y la producción agrícola aseguran un uso eficiente del agua, una producción agrícola sostenible y, en última instancia, la seguridad alimentaria en muchas regiones del mundo (Krishna, 2023).

2.2.7. Sistema de riego por aspersión

El riego por aspersión es un método de irrigación que toma su nombre de su requerimiento fundamental: la presión del agua. Este sistema de riego permite distribuir el agua sobre los cultivos de manera uniforme mediante la pulverización



de pequeñas gotas de agua en el aire, imitando la lluvia natural. Existen varias consideraciones clave para comprender este método de riego (Goyal et al., 2017):

Presión requerida: El riego por aspersión depende de una presión específica del agua para funcionar correctamente. Esta presión es necesaria para forzar el agua a través de los aspersores y pulverizarla en el aire. Por lo tanto, la disponibilidad de la presión adecuada es esencial para el éxito del sistema (Goyal, 2014).

Variabilidad de elevación: En la práctica, los sistemas de riego por aspersión pueden adaptarse a terrenos con variaciones significativas de elevación entre la fuente de agua y la zona que se va a regar. Esto se logra mediante la utilización de bombas y tuberías que pueden elevar el agua desde una fuente más baja hasta las áreas más elevadas del terreno.

Los sistemas de riego por aspersión presentan diversas ventajas, según lo señalado por (Gupta et al., 2023):

Mayor eficiencia de aplicación: La pulverización de agua permite una distribución uniforme sobre el cultivo, lo que minimiza el desperdicio de agua y garantiza que todas las plantas reciban la cantidad adecuada de riego.

Medición sencilla de caudales: Estos sistemas permiten una medición relativamente sencilla y económica de los caudales de agua utilizados en el sistema en su conjunto, lo que facilita el control y la gestión del recurso hídrico.



Regulación económica: La regulación del riego por aspersión se logra de manera más natural y económica en comparación con otros métodos de riego, lo que contribuye a un uso eficiente de los recursos y ahorra costos.

Aplicación de abonos: Existe la posibilidad de agregar fertilizantes y nutrientes directamente al agua utilizada para el riego, lo que facilita la entrega de nutrientes a las plantas de manera efectiva.

En cuanto al control de los caudales en sistemas de riego a presión, se destacan dos métodos importantes, como lo menciona (Gupta et al., 2023):

Riego por turnos: Este método implica la programación del sistema de riego de manera que cada agricultor o parcela pueda utilizarlo durante el horario que mejor le convenga. Esto permite una distribución equitativa y programada del recurso hídrico.

Riego a la demanda: En este enfoque, cualquier agricultor que lo necesite puede realizar el riego en cualquier momento, garantizado por el diseño y la capacidad de la red de riego. Esto brinda flexibilidad y acceso continuo al agua cuando sea necesario.

El riego por aspersión es un método eficiente de irrigación que depende de la presión del agua y permite una distribución uniforme del recurso hídrico sobre los cultivos. Además, ofrece ventajas como la facilidad de medición, regulación económica y la capacidad de aplicar nutrientes directamente en el agua de riego. La gestión de caudales puede lograrse mediante métodos como el riego por turnos o el riego a la demanda, adaptándose a las necesidades de los agricultores y optimizando el uso del agua (Ravikumar, 2022).

2.2.8. Componentes del sistema de riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión es una tecnología avanzada y eficiente que involucra una serie de componentes esenciales para su correcto funcionamiento (Burchardt & Laak, 2023). Estos componentes están diseñados para distribuir agua de manera uniforme sobre un área específica de cultivo. Aquí se detallan los principales elementos que conforman un sistema de riego por aspersión (Gupta et al., 2023):

Fuente de agua: Este es el punto de origen del suministro de agua para el riego. Puede ser un pozo, un canal, un lago, un río o cualquier otra fuente de agua disponible. La calidad y disponibilidad de agua en la fuente son factores cruciales para determinar la eficacia del sistema.

Bombas: Las bombas son dispositivos que se utilizan para aumentar la presión del agua y asegurar que fluya adecuadamente a través de los aspersores. Estas bombas pueden ser eléctricas o impulsadas por motores diésel o de gasolina, dependiendo de la fuente de energía disponible y de las necesidades del sistema.

Tuberías principales: Las tuberías principales son conductos que transportan el agua desde la fuente hasta la ubicación de los aspersores. Deben ser lo suficientemente resistentes y duraderas para soportar la presión del agua y la exposición a condiciones climáticas adversas.

Válvulas de control: Las válvulas de control se utilizan para regular el flujo de agua en el sistema. Permiten encender y apagar secciones del sistema de riego según sea necesario, lo que facilita la gestión y el control del riego en diferentes áreas de cultivo.



Tuberías secundarias o laterales: Estas tuberías distribuyen el agua desde la tubería principal hasta los aspersores individuales. Son flexibles y se pueden ajustar para adaptarse a la disposición de los cultivos.

Aspersores: Los aspersores son dispositivos que rociarán el agua sobre los cultivos en forma de pequeñas gotas. Vienen en una variedad de diseños y tamaños para adaptarse a diferentes necesidades de riego y tipos de cultivos.

Soportes y estructuras: Estas son las estructuras que sostienen los aspersores en su lugar. Pueden ser postes, torres, o sistemas móviles que permiten el desplazamiento de los aspersores para abarcar un área más grande.

Sistema de control: Este componente incluye el sistema de temporización, sensores de humedad, y otros dispositivos de automatización que permiten programar y controlar el riego de manera precisa y eficiente.

Filtros y dispositivos de limpieza: Para evitar que los aspersores se obstruyan con partículas sólidas presentes en el agua, se instalan filtros y dispositivos de limpieza en el sistema.

Accesorios de riego: Incluyen elementos como medidores de caudal, medidores de presión y dispositivos para inyectar fertilizantes o productos químicos en el agua de riego.

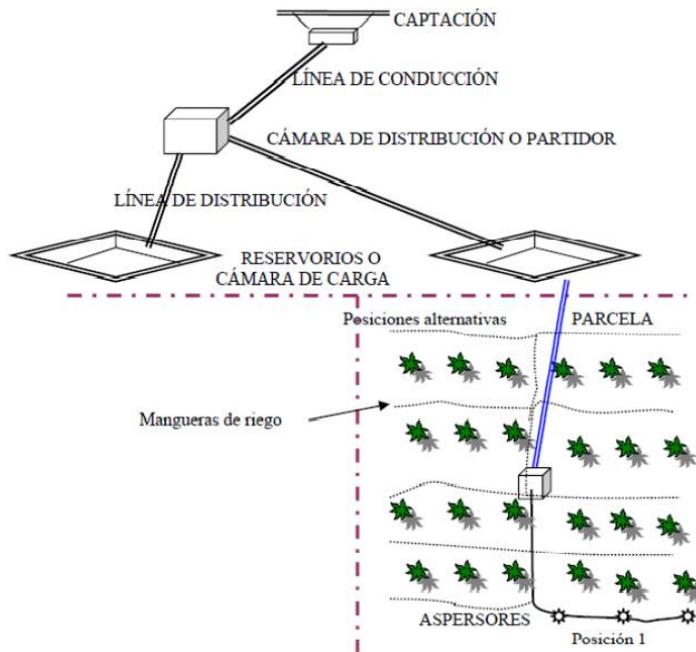
Sistema de drenaje: En algunos sistemas, es necesario contar con un sistema de drenaje para eliminar el exceso de agua y evitar la saturación del suelo.

La eficiencia y el rendimiento de un sistema de riego por aspersion dependen de la correcta selección, instalación y mantenimiento de todos estos

componentes. Al combinar tecnología avanzada con una gestión cuidadosa, los agricultores pueden optimizar el uso del agua y mejorar los rendimientos de sus cultivos (Goyal & Singh, 2017).

Figura 4

Sistema de riego



Fuente: Deambi (2016)

2.2.9. Aspectos a considerar para el cálculo de un sistema de riego por Aspersión

Aspectos críticos a evaluar para el diseño de un sistema de riego por aspersión: la importancia de la topografía del terreno (Anderson, 2019):

El proceso de planificación y cálculo de un sistema de riego por aspersión implica una serie de consideraciones fundamentales, y la topografía del terreno es uno de los factores esenciales que influyen en la eficiencia y efectividad de este sistema de irrigación. La topografía abarca una variedad de características del terreno que deben ser minuciosamente analizadas para un diseño preciso y una



distribución uniforme del agua. Aquí, profundizamos en la importancia de la topografía del terreno como un aspecto crítico (Sengar & McMillin, 2019):

1. Elevación y altitud: Comprender la elevación y la altitud del terreno es esencial, ya que estos factores impactan directamente en la presión y el flujo del agua en el sistema de riego. Cuanto mayor sea la diferencia de elevación entre la fuente de agua y las áreas de riego, mayor será la presión del agua disponible. Esto puede influir en la selección de las bombas y determinar la disposición de las tuberías.
2. Forma y configuración del terreno: La forma del terreno, si es plano, inclinado o en terrazas, influye en la eficiencia de la distribución de los aspersores y la tubería. Terrenos inclinados pueden requerir un diseño específico para garantizar una cobertura uniforme del agua.
3. Pendientes: Las pendientes del terreno son cruciales, ya que afectan la velocidad del flujo de agua y la uniformidad de la distribución. Áreas con pendientes pronunciadas pueden experimentar problemas de erosión y escorrentía si no se planifican adecuadamente.
4. Ubicación de la fuente de agua: Conocer la ubicación precisa de la fuente de agua, como pozos, ríos o estanques, es esencial para definir la disposición de la infraestructura de riego. Esto también incide en la presión y el caudal disponibles en el sistema.
5. Configuración de aspersores: La topografía afecta la elección y ubicación de los aspersores. En áreas elevadas, es posible que se requiera una mayor presión para asegurar una distribución uniforme. En terrenos más bajos, la



presión puede ser menor, lo que podría influir en la elección de aspersores específicos.

6. Drenaje natural: Comprender cómo se da el drenaje natural del agua en el terreno es esencial para prevenir problemas de encharcamiento y garantizar que las áreas más bajas no se inunden.
7. Distancias y longitudes: Evaluar las distancias y longitudes a lo largo del terreno es fundamental para determinar la capacidad de las tuberías y la presión requerida. Distancias largas pueden afectar la presión del agua y, por ende, deben considerarse cuidadosamente.
8. Carga dinámica: Calcular la carga dinámica total es esencial para asegurarse de que la presión y el flujo del agua sean adecuados para satisfacer las necesidades de riego de diferentes áreas del terreno.

La topografía del terreno es un factor crítico que no solo influye en la distribución eficiente del agua, sino que también puede tener un impacto significativo en los costos asociados con la inversión inicial y la operación del sistema de riego por aspersión (Anderson, 2019; Sommers, 2019). Un análisis detallado de estos aspectos topográficos contribuye a una planificación precisa y a la optimización del sistema de riego, garantizando un uso eficiente del agua y un crecimiento saludable de los cultivos. Por lo tanto, la consideración de la topografía es fundamental para el éxito a largo plazo de cualquier proyecto de riego (Coles, 2022).

2.2.10. Contenido de agua en el suelo

En el contexto de las operaciones de riego y drenaje, es esencial adoptar un método que permita evaluar con precisión las necesidades hídricas del suelo y



de los cultivos. Para lograr esto, una práctica sumamente beneficiosa es describir la demanda de agua del suelo en términos de una lámina de agua, que se refiere al grosor de agua requerido para satisfacer las necesidades hídricas en una unidad de superficie. Las unidades de medida más comunes utilizadas para este propósito son los metros cúbicos por hectárea (m^3/ha) y los milímetros (mm) (Gupta et al., 2023). La relación entre estas dos unidades es la siguiente:

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

Importancia de la Medición de la Lámina de Agua en el Suelo:

Precisión en la aplicación de agua: Medir la demanda de agua en términos de lámina de agua proporciona una representación más precisa de la cantidad exacta de agua que se requiere para mantener niveles óptimos de humedad en el suelo. Esto evita el desperdicio de recursos hídricos al aplicar la cantidad adecuada de agua necesaria para el crecimiento saludable de los cultivos.

Eficiencia en el riego: La medición en lámina de agua ayuda a calcular la cantidad precisa de agua que se debe aplicar en cada ciclo de riego. Esto contribuye a evitar el exceso de riego, que puede resultar en la lixiviación de nutrientes y la compactación del suelo.

Detección de estrés hídrico: El seguimiento regular de la lámina de agua en el suelo permite a los agricultores detectar posibles períodos de sequía o estrés hídrico en los cultivos. Esto permite tomar medidas correctivas a tiempo y evitar daños en las plantas.



Optimización del uso de recursos: Al utilizar unidades consistentes como m^3/ha o mm, los agricultores pueden planificar y administrar eficientemente la cantidad de agua necesaria para diferentes cultivos y condiciones de suelo. Esto resulta en un uso más sostenible y responsable de los recursos hídricos.

Control de fertilización: La medición de la lámina de agua también influye en la aplicación de fertilizantes. Al conocer la cantidad exacta de agua aplicada, los agricultores pueden ajustar las dosis de fertilizantes para evitar la sobre o subfertilización.

La medición en términos de lámina de agua es una práctica valiosa para la gestión inteligente del riego y drenaje, y contribuye a maximizar la productividad agrícola al tiempo que se minimiza el impacto ambiental. La comprensión de la relación entre m^3/ha y mm proporciona una herramienta esencial para traducir las necesidades hídricas del suelo en acciones prácticas de riego.

2.2.11. Tipo de suelo

El tipo de suelo en el que se cultivan los productos agrícolas es un factor crítico que incide en el éxito de la agricultura y en la planificación de sistemas de riego (Rizzo et al., 2022). Este conocimiento es fundamental para calcular el volumen de agua necesario para asegurar el óptimo crecimiento de los cultivos. Aquí, exploramos en detalle la relevancia de comprender y clasificar el tipo de suelo en la agricultura (Bandh, 2021):

1. Variabilidad de suelos: En cualquier área agrícola, es común encontrar una variabilidad significativa en los tipos de suelo presentes. Estos pueden variar en textura (arena, limo, arcilla), estructura, capacidad de retención de agua y



nutrientes, y otros atributos clave. Comprender esta variabilidad es esencial para adaptar las prácticas de riego y cultivo a las necesidades específicas de cada tipo de suelo.

2. Retención de agua: Diferentes tipos de suelo tienen diferentes capacidades de retención de agua. Los suelos arcillosos retienen agua por más tiempo, mientras que los suelos arenosos drenan más rápido. Esto influye en la frecuencia y la cantidad de riego requerida para mantener la humedad adecuada para los cultivos.

3. Textura y estructura: La textura y estructura del suelo afectan la penetración del agua y la distribución de las raíces de las plantas. Suelos compactos o con textura inapropiada pueden dificultar el crecimiento de las raíces y requerir un riego más frecuente para garantizar el suministro de agua a las plantas.

4. Necesidades nutricionales: El tipo de suelo también influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Algunos suelos retienen mejor los nutrientes, mientras que otros pueden requerir una fertilización más frecuente para satisfacer las necesidades de los cultivos.

5. Efectos en la erosión y escorrentía: Los suelos arenosos, por ejemplo, son más susceptibles a la erosión y la escorrentía en caso de lluvias intensas. Esto puede afectar negativamente la retención de agua y la estabilidad de los cultivos.

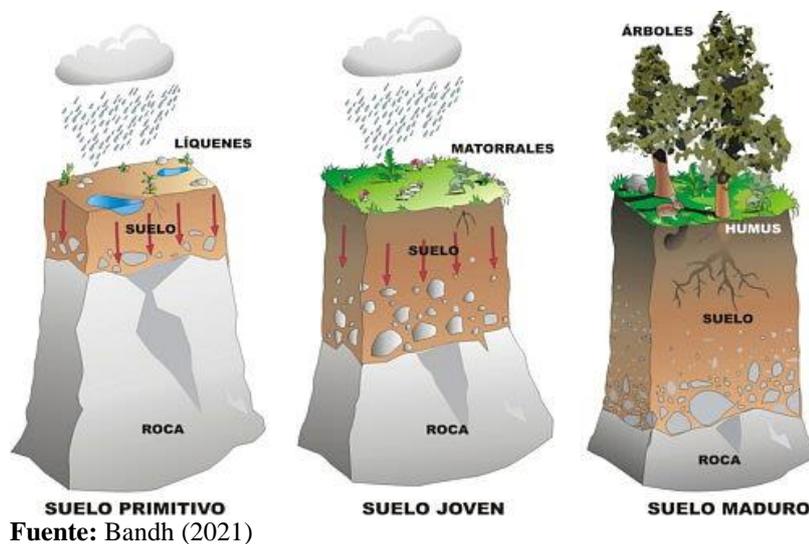
6. Diseño de sistemas de riego: Conocer el tipo de suelo es esencial para diseñar sistemas de riego eficientes. La elección de aspersores, tuberías y la planificación de la distribución del agua deben adaptarse al tipo de suelo para garantizar una irrigación efectiva y minimizar el desperdicio de agua.

7. Riego por goteo: En suelos con baja capacidad de retención de agua, como los arenosos, el riego por goteo puede ser una opción óptima. Este método proporciona una liberación gradual del agua cerca de las raíces de las plantas, optimizando la absorción de agua y nutrientes.

El tipo de suelo es un factor determinante en la gestión agrícola y del riego. Un conocimiento preciso de los atributos del suelo permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el riego, la fertilización y la selección de cultivos (Bandh, 2021; Rizzo et al., 2022). Esto no solo mejora la eficiencia en el uso del agua, sino que también contribuye al éxito y la sostenibilidad de la agricultura. Por lo tanto, la clasificación y comprensión del tipo de suelo son esenciales para una agricultura productiva y responsable (Reichardt & Timm, 2019).

Figura 5

Tipos de suelos



2.2.12. Densidad aparente de suelo

La densidad aparente del suelo es un parámetro crucial en la caracterización de suelos y tiene un impacto significativo en la productividad



agrícola (Gupta et al., 2023). Se refiere a la masa de una unidad de volumen de suelo y se expresa comúnmente en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) (Goyal, 2014). Aunque los valores de densidad aparente pueden variar según la textura, la estructura y la composición del suelo, suele encontrarse dentro de un rango específico (Bandh, 2021).

Importancia de la densidad aparente del suelo:

Salud del suelo: La densidad aparente es un indicador clave de la salud y calidad del suelo. Suelos con una densidad aparente adecuada permiten una buena circulación de aire, la penetración de las raíces y la absorción de agua y nutrientes. Valores inapropiados pueden resultar en suelos compactados que obstaculizan el crecimiento de las plantas.

Efecto en la compactación del suelo: Valores elevados de densidad aparente indican una compactación excesiva del suelo, lo que dificulta que las raíces se extiendan y absorban nutrientes y agua. La compactación también disminuye la porosidad del suelo, lo que afecta negativamente la aireación y el drenaje.

Calidad de las raíces: Una densidad aparente adecuada es esencial para permitir el crecimiento óptimo de las raíces de las plantas. Suelos demasiado compactados pueden resultar en raíces deformadas o superficiales, lo que afecta negativamente la absorción de nutrientes y el anclaje de las plantas.

Rendimiento de cultivos: La densidad aparente influye en la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Suelos con valores adecuados de densidad



aparente permiten una retención adecuada de agua y nutrientes, lo que puede mejorar el rendimiento de los cultivos.

Evaluación de propiedades del suelo: La densidad aparente se utiliza para calcular otras propiedades del suelo, como la porosidad, la capacidad de retención de agua y la capacidad de aireación. Estas propiedades son fundamentales para determinar la idoneidad del suelo para fines agrícolas.

Manejo sostenible: El monitoreo regular de la densidad aparente del suelo es esencial para el manejo sostenible de la tierra. Permite a los agricultores y expertos en suelos tomar medidas preventivas contra la compactación y realizar mejoras en la estructura del suelo.

La densidad aparente del suelo es un indicador esencial en la evaluación y el manejo de suelos agrícolas. Su valor proporciona información valiosa sobre la capacidad del suelo para sostener el crecimiento de plantas saludables y productivas (Eslamian & Eslamian, 2023b). El monitoreo y la gestión adecuados de la densidad aparente son pasos fundamentales para mantener y mejorar la calidad del suelo y, en última instancia, para asegurar el éxito de la agricultura sostenible (Bandh, 2021).

Tabla 1

Densidad aparente de tipos de suelo

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

Fuente: Bandh (2021)

2.2.13. Capacidad de campo

La capacidad de campo es un concepto crucial en la agronomía y la gestión de recursos hídricos agrícolas (Gupta et al., 2023). Se refiere al contenido de agua en el suelo después de que ha drenado el exceso de humedad y el ritmo de caída ha disminuido lo suficiente. En otras palabras, es el nivel de humedad que el suelo retiene cuando ya no hay un exceso de agua que escurrir debido a la gravedad (Krishna, 2023). La capacidad de campo se expresa como un porcentaje en relación con el volumen de poros del suelo y varía según la textura, la estructura y otros factores del suelo (Manganaris et al., 2023).

Importancia de la capacidad de campo:

Determina la frecuencia de riego: Conocer la capacidad de campo es esencial para determinar cuándo y con qué frecuencia debe realizarse el riego. Una vez que el suelo ha alcanzado su capacidad de campo, se considera que está en condiciones óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas. Esto ayuda a



evitar el riego excesivo o insuficiente, lo que puede ser perjudicial para los cultivos.

Optimiza la absorción de agua: La capacidad de campo garantiza que el suelo tenga suficiente humedad para que las raíces de las plantas absorban agua y nutrientes de manera eficiente. Esto es esencial para un crecimiento saludable y un desarrollo adecuado de las plantas.

Prevención de la lixiviación: Al regar cuando el suelo ha alcanzado la capacidad de campo, se reduce el riesgo de lixiviación, que es la pérdida de nutrientes y contaminantes a través del drenaje excesivo. Esto ayuda a conservar los nutrientes en la zona radicular de las plantas.

Promoción de la porosidad: Mantener el suelo cerca de su capacidad de campo también contribuye a una buena porosidad del suelo. Los poros permiten la circulación de aire y agua, lo que es esencial para la salud de las raíces y la actividad microbiana en el suelo.

Reducción del estrés hídrico: Un suelo que se mantiene cerca de su capacidad de campo es menos propenso al estrés hídrico, lo que puede dañar las plantas y reducir los rendimientos. Un manejo adecuado de la capacidad de campo ayuda a mantener niveles de humedad estables.

Planificación del riego: Conocer la capacidad de campo de un suelo es esencial para planificar y programar el riego de manera eficiente. Los agricultores pueden determinar cuánta agua se debe aplicar para volver a llenar el suelo hasta su capacidad de campo.

La capacidad de campo es un parámetro fundamental para la gestión del riego y la agricultura. Su comprensión y monitoreo adecuados son esenciales para garantizar un uso eficiente del agua, el crecimiento saludable de los cultivos y la sostenibilidad agrícola. Además, contribuye a la conservación de recursos hídricos y a la reducción de la lixiviación de nutrientes, promoviendo prácticas agrícolas responsables (Bandh, 2021).

Tabla 2

Valores normales de capacidad de campo

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

Fuente: Gupta et al. (2023).

2.2.14. Punto de marchitez permanente del suelo

El punto de marchitez permanente del suelo (PMP) es un concepto fundamental en la agronomía y la gestión del riego que se refiere al nivel de humedad en el suelo en el que las plantas comienzan a experimentar un estrés hídrico significativo (Eslamian & Eslamian, 2023b). En este punto, el suelo contiene la menor cantidad de agua que las plantas pueden extraer y utilizar para su crecimiento y desarrollo. Si el contenido de agua del suelo cae por debajo de este punto, las plantas no pueden extraer suficiente agua para mantener sus



funciones vitales y, como resultado, se marchitan de manera permanente (Gupta et al., 2023).

Importancia del punto de marchitez permanente:

Determina las necesidades de riego: Comprender el PMP es crucial para programar y gestionar eficazmente el riego. Los agricultores pueden evitar que el contenido de agua del suelo caiga por debajo del PMP al aplicar agua antes de que las plantas experimenten estrés hídrico.

Optimiza el uso del agua: Al regar solo cuando el contenido de agua del suelo se acerca al PMP, se evita el uso excesivo de agua. Esto promueve la eficiencia en el riego y la conservación de recursos hídricos.

Minimiza el estrés hídrico en las plantas: Mantener el contenido de agua del suelo por encima del PMP asegura que las plantas tengan acceso constante a la humedad necesaria para su crecimiento. Esto minimiza el estrés hídrico y permite un desarrollo saludable de las plantas.

Evita la pérdida de cultivos: El conocimiento del PMP es esencial para evitar la pérdida de cultivos debido a la sequía. Los agricultores pueden tomar medidas preventivas para mantener un suministro adecuado de agua en el suelo y proteger sus cosechas.

Planificación de la fertilización: El PMP también influye en la planificación de la fertilización. El contenido de agua del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, y mantenerlo por encima del PMP es esencial para garantizar la absorción adecuada de nutrientes. Reducción de la

erosión y la compactación: Al mantener el suelo por encima del PMP, se reduce el riesgo de erosión y compactación del suelo, ya que las raíces de las plantas contribuyen a mantener la estructura del suelo.

El punto de marchitez permanente del suelo es un factor crítico en la gestión agrícola y de recursos hídricos. Su comprensión y monitoreo adecuados son esenciales para garantizar un uso eficiente del agua, el crecimiento saludable de los cultivos y la sostenibilidad agrícola (Eslamian & Eslamian, 2023a). Además, contribuye a la conservación de recursos hídricos y a la reducción del estrés hídrico en las plantas, promoviendo prácticas agrícolas responsables y la protección de las cosechas (Eslamian & Eslamian, 2023b).

Tabla 3

Valores normales de coeficiente de marchitez

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

Fuente: Ravikumar (2022).

2.2.15. Cálculo agronómico

El cálculo agronómico es una parte esencial de la ciencia agrícola que implica una serie de cálculos y análisis destinados a optimizar la producción agrícola y el uso eficiente de los recursos (Goyal et al., 2017). Estos cálculos están diseñados para guiar a los agricultores y profesionales agronómicos en la toma de



decisiones informadas en todas las etapas del proceso de cultivo, desde la planificación hasta la cosecha. Aquí se exploran los aspectos clave del cálculo agronómico y su importancia (Ravikumar, 2022):

1. Estimación de las necesidades de agua y nutrientes: Uno de los aspectos fundamentales del cálculo agronómico es determinar las necesidades de agua y nutrientes de los cultivos. Esto implica evaluar factores como el tipo de cultivo, las condiciones del suelo, el clima y el ciclo de crecimiento. Los cálculos permiten determinar cuánta agua y qué tipo de fertilizantes son necesarios para optimizar el crecimiento de las plantas.

2. Planificación del riego y la fertilización: Con base en los cálculos, se elaboran planes de riego y fertilización. Estos planes determinan cuándo y cuánta agua y fertilizantes deben aplicarse para satisfacer las necesidades de los cultivos. La planificación adecuada contribuye a evitar el exceso o la escasez de agua y nutrientes, lo que puede afectar negativamente la producción.

3. Programación de la siembra y la cosecha: El cálculo agronómico también aborda la programación de la siembra y la cosecha. Esto implica determinar el momento óptimo para sembrar y cosechar los cultivos, teniendo en cuenta factores como la duración del ciclo de crecimiento, las condiciones climáticas y la demanda del mercado.

4. Manejo integrado de plagas y enfermedades: Los cálculos agronómicos se utilizan para desarrollar estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades. Esto incluye la planificación de tratamientos químicos, biológicos y culturales para controlar y prevenir infestaciones que puedan dañar los cultivos.



5. Análisis económico y rentabilidad: El cálculo agronómico no solo se centra en la producción, sino también en la rentabilidad. Los análisis económicos ayudan a evaluar la inversión requerida y los posibles retornos de la actividad agrícola. Esto es esencial para tomar decisiones financieras informadas.

6. Sostenibilidad y conservación de recursos: Los cálculos agronómicos también tienen un enfoque en la sostenibilidad. Se utilizan para evaluar el uso eficiente de los recursos naturales, como el agua y los suelos, y para promover prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental.

7. Investigación y desarrollo: La investigación agronómica se beneficia enormemente de los cálculos, ya que permiten realizar experimentos y evaluar datos de manera cuantitativa. Esto impulsa el avance de técnicas agrícolas más efectivas y sostenibles.

El cálculo agronómico es una herramienta esencial para maximizar la productividad agrícola, garantizar la sostenibilidad de la agricultura y tomar decisiones informadas en la gestión de cultivos (He, 2023). Al combinar datos científicos, observaciones prácticas y análisis cuantitativos, los agricultores y los profesionales agronómicos pueden optimizar sus prácticas agrícolas para obtener cosechas de alta calidad de manera eficiente y sostenible (Gupta et al., 2023).

2.2.16. Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ET_o)

La evapotranspiración potencial (ET_o) es una medida fundamental en la gestión del agua y la agricultura, ya que representa la cantidad máxima de agua que podría perderse de una superficie vegetada si estuviera completamente disponible (Burchardt & Laak, 2023). La ET_o es esencial para calcular las

necesidades de riego, programar el riego de cultivos y evaluar la disponibilidad de agua en una región. Aquí, se exploran los principales métodos utilizados para determinar la ETo (Gupta et al., 2023):

1. Método de Penman-Monteith: El método de Penman-Monteith es ampliamente considerado como uno de los métodos más precisos para calcular la ETo. Este enfoque utiliza una amplia gama de datos meteorológicos, incluyendo la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar. Esto permite una representación precisa de los procesos de evaporación y transpiración en las plantas. Aunque es más complejo y requiere más datos que otros métodos, es el estándar de oro en la estimación de la ETo.

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

Donde, ETo: evapotranspiración de referencia (*mm/día*); Rn: radiación neta en la superficie del cultivo (*MJ/m²/día*); G: Flujo de calor del suelo (*MJ/m²/día*); T: temperatura media del aire a dos metros de altura (*°C*); u₂: velocidad del viento a dos metros de altura (*m/s*); e_s: presión de vapor de saturación (*kPa*); e_n: presión real de vapor (*kPa*); Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (*kPa/°C*) y γ: constante psicrométrica (*kPa/°C*).

2. Método de Hargreaves-Samani: El método de Hargreaves-Samani es un enfoque simplificado que utiliza la temperatura máxima y mínima del aire y la radiación solar extraterrestre para calcular la ETo. Aunque es menos preciso que el método de Penman-Monteith, es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y la disponibilidad de datos meteorológicos básicos.



3. Método de Thornthwaite: El método de Thornthwaite se basa en la temperatura y utiliza ecuaciones empíricas para estimar la ETo. Aunque es adecuado para regiones donde los datos meteorológicos son limitados, su precisión puede variar según la ubicación y las condiciones climáticas.
4. Método de Turc: El método de Turc se basa en la temperatura y la radiación solar. Es particularmente útil en áreas con registros limitados de datos meteorológicos. Sin embargo, su precisión puede disminuir en regiones con condiciones climáticas extremas.
5. Método de FAO-56 (Algoritmo de Priestley-Taylor): Este método, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), utiliza la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento. Es ampliamente aceptado en la agricultura y se considera adecuado para diversas condiciones climáticas.
6. Método de Makkink: Similar al método FAO-56, el método de Makkink utiliza la radiación solar, la temperatura y la velocidad del viento. Es apropiado para regiones donde los datos meteorológicos son limitados y se basa en una relación simple entre la radiación solar y la temperatura.
7. Estaciones Meteorológicas y Sensores de Tiempo Real: Las estaciones meteorológicas automáticas y los sensores de tiempo real proporcionan datos en tiempo real sobre variables meteorológicas clave, lo que permite calcular la ETo de manera continua y precisa. Estas tecnologías están cada vez más disponibles y se utilizan en aplicaciones de riego de precisión.

Los métodos para determinar la ETo desempeñan un papel crítico en la gestión del agua y la agricultura (Khan et al., 2023). La elección del método depende de la disponibilidad de datos meteorológicos, la precisión requerida y las condiciones locales (Goyal & Singh, 2017). La estimación precisa de la ETo es esencial para optimizar el riego de cultivos, garantizar un uso eficiente del agua y tomar decisiones informadas en la gestión agrícola y de recursos hídricos (He, 2023).

a) Necesidad de cálculo de la demanda de agua

El cálculo de la demanda de agua es una práctica esencial en la agricultura que tiene un impacto significativo en la gestión de recursos hídricos, el éxito de los cultivos y el entorno circundante (Goyal et al., 2017). Esta estimación competente del requerimiento de agua es el cimiento para diseñar sistemas de riego eficientes y sostenibles y proporcionar una respuesta adecuada a las necesidades hídricas de las plantas (Goyal & Singh, 2017). Aquí, se profundiza en la importancia de calcular la demanda de agua en la agricultura (Gupta et al., 2023):

1. Diseño de sistemas de riego eficientes: El cálculo preciso de la demanda de agua es esencial para diseñar sistemas de riego que proporcionen la cantidad adecuada de agua a los cultivos. Esto ayuda a evitar el uso excesivo de agua, lo que podría dañar los cultivos y agotar los recursos hídricos.
2. Optimización del riego: Conocer las necesidades de agua de los cultivos permite programar el riego de manera óptima. Se puede determinar cuándo y cuánta agua aplicar, lo que contribuye a un uso eficiente del agua y a un crecimiento saludable de las plantas.



3. Conservación de recursos hídricos:

El cálculo de la demanda de agua también es crucial para la conservación de recursos hídricos. Al aplicar solo la cantidad necesaria de agua, se evita el desperdicio y se contribuye a la sostenibilidad del suministro de agua a largo plazo.

4. Medición de evapotranspiración de cultivos (ET_c):

Para calcular la demanda de agua de los cultivos, se utiliza la evapotranspiración de cultivos (ET_c), que representa la cantidad real de agua que una planta agota durante un período específico. Este cálculo es esencial para determinar cuánta agua necesita cada cultivo en función de su tipo y etapa de crecimiento.

El cálculo de la demanda de agua en la agricultura es una práctica fundamental que tiene un impacto significativo en la eficiencia del riego, la conservación de recursos hídricos, la salud de los cultivos y el entorno circundante. Proporcionar la cantidad adecuada de agua a los cultivos es esencial para garantizar un suministro de alimentos sostenible y saludable, así como para preservar los recursos naturales y la belleza de nuestro entorno (Gupta et al., 2023).

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

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (3)$$

Donde: ET_c : *Evapotranspiración de cultivo*; K_c : *Coeficiente para cada cultivo*; ET_o : *Evapotranspiración de un cultivo de referencia*



b) Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo (K_c) es una herramienta clave en la agricultura que se utiliza para gestionar eficazmente el riego y determinar las necesidades hídricas de los cultivos en diferentes etapas de su ciclo de crecimiento (Krishna, 2023). Este coeficiente, expresado como un valor adimensional entre 0 y 1, representa la relación entre la cantidad real de agua que un cultivo requiere en un momento dado y la cantidad potencial que podría necesitar si tuviera agua ilimitada disponible (Eslamian & Eslamian, 2023a).

En resumen, el coeficiente de cultivo (K_c) es una herramienta vital en la gestión agrícola y del riego. Su capacidad para adaptar el suministro de agua a las necesidades cambiantes de los cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento es fundamental para optimizar el uso del agua, mejorar la calidad de los cultivos y fomentar prácticas agrícolas sostenibles en un mundo donde los recursos hídricos son cada vez más escasos (Goyal, 2014).

- Etapa inicial: Comprende desde la siembra hasta la emergencia de las plántulas y hasta que el cultivo haya cubierto aproximadamente el 10% de la superficie.
- Etapa de crecimiento: Desde la emergencia hasta que el cultivo haya crecido por completo o haya alcanzado una cobertura efectiva que va del 70% al 89%, lo que significa que el cuerpo del cultivo ocupa el 10% restante de la superficie.
- Etapa intermedia: Se extiende desde el final del crecimiento activo del cultivo hasta el comienzo de su madurez.

- Etapa final: Desde el inicio de la madurez del cultivo hasta su completa maduración.

Tabla 4

Valores Kc para fines de diseño de sistemas de riego

Pastos	Kc inicio		Kc fin	
	H*	S*	H	S
Alfalfa	0.50	0.40	0.85	1.00
Leguminosas	0.55	0.55	1.00	1.05
Pasto 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: Gupta et al. (2023).

c) **Parámetros de riego**

De acuerdo con Gupta et al. (2023), señalan que la obtención de información sobre los aspectos relacionados con el riego con el propósito de diseñar y dimensionar los equipos de riego implica la recopilación de datos agrotécnicos tales 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 (g/cm^3).
- A=Área total a regar.
- Ea=Eficiencia de aplicación estimada.



- DL=Días libres de riego durante un ciclo de riego.
- Tdr=tiempo disponible de riego al día.

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

La lámina neta de riego, también conocida como Ln, es un término utilizado en la agricultura y la gestión del agua para referirse a la cantidad de agua que efectivamente se retiene en el suelo y está disponible para las raíces de las plantas después de un riego o una precipitación. En otras palabras, representa la lámina de agua que queda en el suelo y que las plantas pueden utilizar para su crecimiento y desarrollo (He, 2023).

El cálculo de la lámina neta de riego se basa en una serie de parámetros físicos del suelo, como su capacidad de retención de agua y la profundidad de las raíces de las plantas. Estos parámetros determinan cuánta agua puede ser almacenada en el suelo y cuánta está disponible para su absorción por parte de las plantas (Manganaris et al., 2023).

La lámina neta de riego es un indicador crucial para los agricultores y los expertos en riego, ya que les permite ajustar la cantidad de agua que se debe aplicar a los cultivos de manera precisa. Esto contribuye a un uso eficiente del agua, evita el desperdicio y asegura que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua para un crecimiento saludable (Ravikumar, 2022).

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

La lámina bruta de riego, también conocida como Lb, es un término utilizado en agricultura e irrigación para referirse a la cantidad total de agua que debe aplicarse durante un riego específico en un área de cultivo. Esta cantidad se determina considerando varios



factores, incluyendo la gestión del agua en el suelo, la lámina neta de riego (L_n) y la cantidad de evapotranspiración, especialmente en áreas donde las demandas hídricas son significativas (Ravikumar, 2022).

La L_b es un indicador crucial para planificar el riego de manera eficiente y asegurar que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua para su crecimiento y desarrollo óptimos. Para calcular la L_b , se tienen en cuenta factores como la capacidad de retención de agua del suelo, la profundidad de las raíces de las plantas y la tasa de evaporación y transpiración en el entorno (Manganaris et al., 2023).

Una gestión adecuada de la L_b contribuye a optimizar el uso del agua, evitando tanto el exceso de riego, que podría desperdiciar recursos hídricos y causar problemas como la saturación del suelo, como el riego insuficiente, que podría afectar negativamente el crecimiento de las plantas y la producción agrícola (He, 2023).

3) Intensidad de la aplicación (I_a)

La intensidad de aplicación (I_a) es un término fundamental en la agricultura y la gestión del riego que se utiliza para medir la velocidad a la que se aplica el agua durante un proceso de riego. Esta medida se expresa comúnmente en milímetros por hora (mm/h) y es esencial para determinar la cantidad de agua que se suministra al suelo en un período de tiempo específico (Goyal & Singh, 2017).

El conocimiento de la lámina bruta de riego (L_b) es esencial para comprender la cantidad de agua requerida para reponer la humedad extraída por



las plantas y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo (Cano et al., 2022). Sin embargo, dado que la Lb se aplica mediante el riego, es igualmente importante conocer la magnitud de la intensidad de aplicación (Ia).

La Ia se relaciona directamente con la eficacia del riego y la capacidad de proporcionar agua de manera precisa a las plantas. Una Ia adecuada garantiza que el agua se aplique de manera uniforme en el campo, evitando el exceso de riego que podría causar el encharcamiento del suelo y el desperdicio de agua, así como el riego insuficiente que podría afectar el crecimiento de las plantas (Drew & Crase, 2023).

4) Tiempo de riego (T_r)

El tiempo de riego es un factor esencial en la gestión agrícola y la irrigación que determina la duración durante la cual se aplica agua a un área específica de cultivo. Este aspecto reviste una gran importancia en la agricultura, ya que influye en el suministro adecuado de agua a las plantas, lo que a su vez afecta su crecimiento y desarrollo (Manganaris et al., 2023).

La determinación del tiempo de riego se basa en varios factores, como la lámina bruta de riego (Lb), la intensidad de aplicación (Ia), la capacidad de retención de agua del suelo y las necesidades hídricas de los cultivos en diferentes etapas de su ciclo de crecimiento (Drew & Crase, 2023).

Es crucial encontrar un equilibrio en el tiempo de riego. Si el tiempo es insuficiente, las plantas pueden no recibir la cantidad necesaria de agua para prosperar, lo que puede dar lugar a un crecimiento deficiente y una disminución de la producción. Por otro lado, si el tiempo de riego es excesivo, el suelo puede



saturarse y causar problemas como el encharcamiento y la pérdida de nutrientes (Khan et al., 2023).

En la agricultura moderna, la gestión del tiempo de riego se ha vuelto más precisa gracias a la automatización y la tecnología. Los sistemas de riego avanzados permiten programar y controlar con precisión la duración y la frecuencia del riego, adaptándolas a las necesidades específicas de los cultivos y las condiciones climáticas (Gupta et al., 2023).

5) Volumen y caudal de riego

El volumen y el caudal de riego son dos conceptos fundamentales en la agricultura y la gestión del agua que desempeñan un papel esencial en la distribución de agua a los cultivos. Estos términos son críticos para garantizar un suministro adecuado de agua y el crecimiento saludable de las plantas en la agricultura (Eslamian & Eslamian, 2023a; Gupta et al., 2023).

Volumen de riego: Este término se refiere a la cantidad total de agua que se aplica a un área de cultivo durante un riego específico. Se mide típicamente en unidades de volumen, como litros o metros cúbicos. El volumen de riego es una medida estática que indica la cantidad total de agua entregada a los cultivos durante un período de tiempo determinado.

Caudal de riego: El caudal de riego se refiere a la velocidad o tasa a la que fluye el agua a través del sistema de riego hacia los cultivos. Se mide generalmente en unidades de volumen por unidad de tiempo, como litros por segundo o metros cúbicos por hora. El caudal es una medida dinámica que representa la velocidad a la que el agua llega a las plantas.



Ambos conceptos están estrechamente relacionados y son esenciales para planificar y gestionar el riego de manera eficiente. El volumen de riego determina la cantidad total de agua que se entregará a un cultivo en un riego particular, mientras que el caudal indica la velocidad a la que esa agua se distribuirá (Wakjira, 2023).

La elección adecuada del volumen y el caudal de riego depende de factores como las necesidades hídricas de los cultivos, las características del suelo, las condiciones climáticas y el sistema de riego utilizado. Una planificación precisa de estos parámetros es esencial para evitar el desperdicio de agua y garantizar que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua para su desarrollo óptimo (He, 2023).

6) Programación de turnos de riego

La programación de turnos de riego es una estrategia fundamental en la gestión del riego agrícola que implica planificar y organizar cuándo y con qué frecuencia se llevarán a cabo los riegos en un área de cultivo específica (Manganaris et al., 2023). Esta planificación se basa en una serie de factores críticos, como las necesidades hídricas de los cultivos, las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y la eficiencia del sistema de riego (He, 2023).

La programación de turnos de riego tiene como objetivo principal garantizar que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua en el momento preciso para su crecimiento y desarrollo óptimos. Algunos de los aspectos clave que se consideran en esta programación incluyen:



Necesidades de los cultivos: Se evalúa la demanda de agua de los cultivos en diferentes etapas de su ciclo de crecimiento. Esto puede variar desde las fases de siembra y germinación hasta la madurez y la cosecha.

Disponibilidad de agua: Se tiene en cuenta la cantidad de agua disponible para el riego, ya sea de fuentes naturales como ríos o pozos, o a través de sistemas de almacenamiento.

Eficiencia del sistema de riego: Se considera el tipo de sistema de riego utilizado, como el riego por goteo, el riego por aspersión o el riego por inundación, y se planifica la distribución del agua de manera eficiente.

Condiciones climáticas: Se monitorean las condiciones meteorológicas para evitar riegos innecesarios durante períodos de lluvia o alta humedad.

Rotación de cultivos: En algunas prácticas agrícolas, se implementa la rotación de cultivos para optimizar el uso de los recursos hídricos y prevenir la agotación del suelo.

La programación de turnos de riego busca lograr un equilibrio entre el suministro de agua necesario para las plantas y la conservación de recursos hídricos (Eslamian & Eslamian, 2023a). Una planificación eficaz puede contribuir a un uso eficiente del agua, evitar el desperdicio y mejorar la productividad agrícola (Gupta et al., 2023).

2.2.17. Cálculo hidráulico

Eslamian and Eslamian (2023a), se señala que en el diseño hidráulico se consideran factores como los tamaños de los conductos, sus longitudes, los

volúmenes de flujo, las fuerzas de presión y las velocidades de las tuberías que conforman el sistema. Además de los cálculos previos realizados, en esta fase se incorporan aspectos técnicos y económicos, así como las preferencias del agricultor.

a) Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

- **Cálculo del número de paneles**

Klemeš (2022), se resalta la importancia de elegir módulos fotovoltaicos con una potencia adecuada en el proceso de cálculo del sistema. Esto se logra siguiendo una fórmula específica para determinar el número de paneles requeridos en el diseño.

$$CP = \frac{WpB}{WpPS} \quad (4)$$

Donde: **WpB**: Cantidad de Watio pico requerido por la bomba; **WpPS**: Cantidad de Watio pico establecido en el panel solar

- **Almacenamiento de energía**

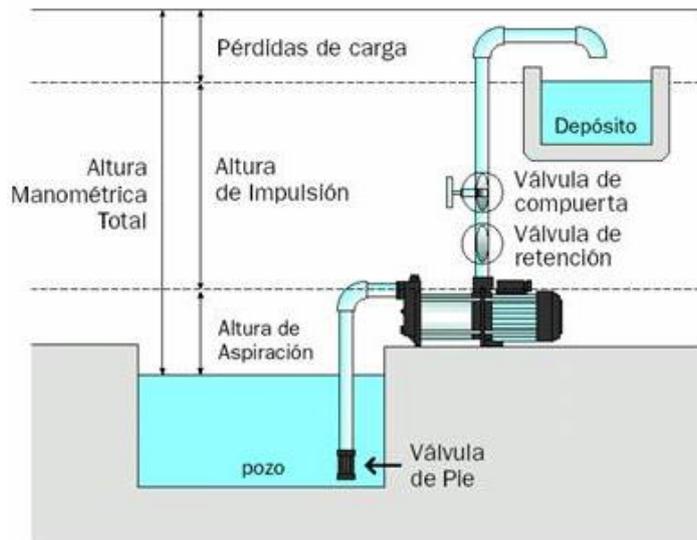
Para determinar la cantidad de energía que puede ser almacenada en una batería, el usuario debe especificar una capacidad de almacenamiento precisa de acuerdo con la potencia estimada del sistema fotovoltaico diseñado (Karim & Puspitasari, 2023).

El almacenamiento de energía es esencial en sistemas fotovoltaicos para garantizar un suministro constante de electricidad, incluso cuando el sol no está disponible (Deambi, 2016; Kumar & Prajapati, 2023). Para lograrlo, se selecciona una batería con una capacidad de almacenamiento adecuada que corresponde a la

cantidad de energía que se espera producir y consumir (Cruz & Núñez, 2014). Esta capacidad se ajusta en función de las necesidades específicas del usuario y del tamaño del sistema fotovoltaico calculado (Klemeš, 2022).

Figura 6

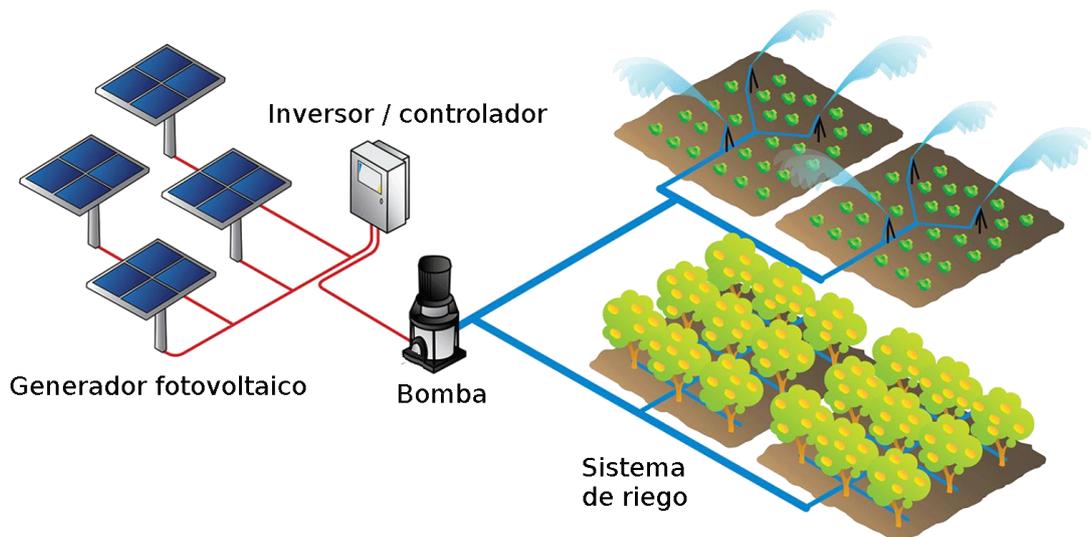
Sistema de impulsión de un sistema de agua para riego



Fuente: Water Resources Council and Hydrology Committee (1981).

Figura 7

Diagrama de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua



Fuente: Klemeš (2022).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

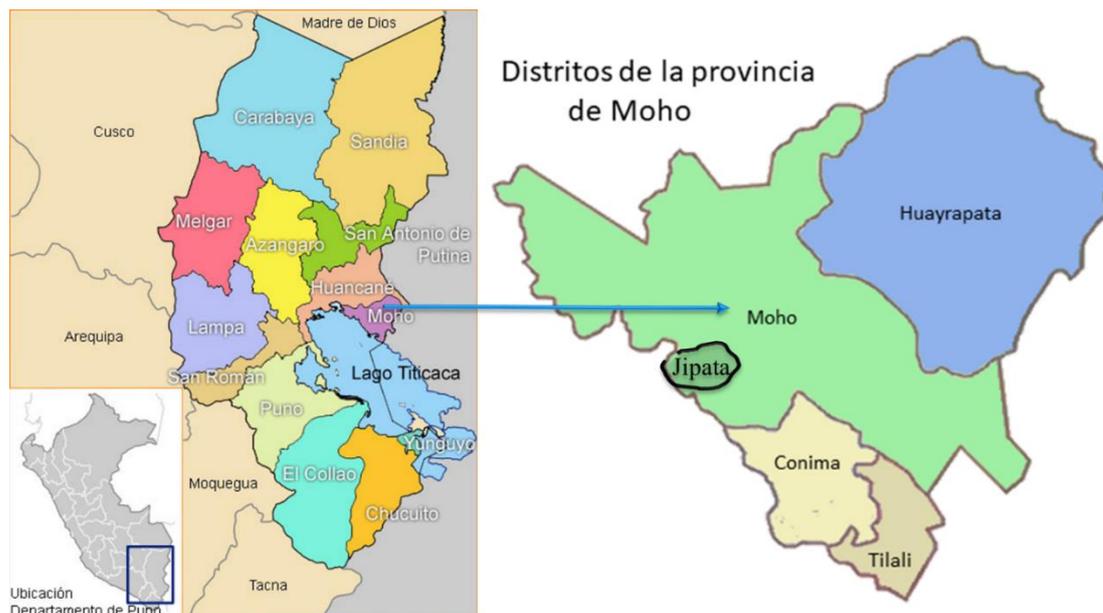
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

La investigación se encuentra en el departamento de Puno, provincia y distrito de Moho, en la comunidad de Jipata, de la región de Puno. Con una pendiente aproximada 0 a 12 % en la parte llana, y en las laderas de 12 a 35 % y en las de fuerte inclinación se tiene pendientes superiores a 35 %, zona con presencia urbana de viviendas de material de ladrillo y material adobe, se tiene la presencia de centros educativos, centro de salud y otras instituciones; la ubicación geográfica se encuentra en la zona geográfica 19 Sur; latitud 15° 42' 10" Sur; longitud 70° 26' 22" Oeste; altitud 4050.00 m.s.n.m.

La población actualmente es de 563 habitantes, según el último Censo peruano de 2017 (INEI, 2023), alcanzando una densidad poblacional de 9,52 hab/km².

Figura 8

Mapa de ubicación de la zona de estudio





3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.2.1. Análisis documental

La presente investigación se basó en la recopilación de información crucial para su desarrollo y respaldo. Se enfocó en la identificación de efectos ambientales fundamentados en situaciones y eventos ya existentes (Valderrama, 2013). Para obtener datos pertinentes sobre los temas de investigación, se recurrió a diversas fuentes como libros, manuales, informes, documentos revisados y tesis académicas (Amaya et al., 2020).

3.2.2. Observación

A través de una observación meticulosa, la investigación se ha enfocado en identificar eventos y fenómenos que suscitan preguntas sobre su naturaleza y causa (Carrasco, 2019). En esencia, se centra en la detección de problemas y se caracteriza como el arte de examinar y comprender un fenómeno, incidente o situación (Gómez, 2012). La principal metodología empleada para recabar datos e información pertinente es la observación de características, incidentes y comportamientos que permiten evaluar el impacto que podría resultar en daños ambientales (como la acumulación de basura en calles, parques y jardines). Este enfoque proporciona una base sólida para comprender y abordar eficazmente el problema identificado (Fuentes et al., 2020).

3.2.3. Internet

En el presente momento, resulta indiscutible el potencial que brinda Internet como tecnología para la obtención de información. Asimismo, se ha

establecido como una de las principales herramientas para la recolección de datos en la época actual.

3.3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de investigación

El tipo de estudio empleado en esta investigación es de carácter descriptivo, con un enfoque cuantitativo y un nivel predictivo, siguiendo un diseño no experimental, como se indica en los trabajos de Fuentes et al. (2020). Esta elección se basa en el propósito de evaluar las acciones y contextos relacionados con la evaluación del sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata.

La investigación se centra en la evaluación de variables específicas relacionadas con el sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata. Por lo tanto, se ha optado por un diseño de investigación no experimental (Gallardo, 2017). Esto se debe a que las variables que conforman el cuerpo de investigación se exploran de manera descriptiva y buscan cuantificar aspectos relacionados con la evaluación del sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata, de acuerdo con los objetivos planteados (Ruiz, 2007).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

En este estudio se aplicaron técnicas esenciales para recopilar datos, que incluyen la observación directa, la realización de encuestas y la revisión exhaustiva de documentos relevantes (Patankar et al., 2023). Además, se llevó a cabo un recorrido por la localidad de Jipata para obtener información de campo adicional (Rousseau et al., 2018). Como



complemento, se utilizó la revisión bibliográfica como una técnica para recopilar datos secundarios (Ruiz, 2007).

3.4.1. Instrumentos

- Manómetro de 200 kPa
- Bandeja de 1m x 1m
- Cinta métrica de 30 m
- Software Microsoft Office
- Software Microsoft Excel
- Software Google Earth
- Datos del INEI

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

De acuerdo con Noennig et al. (2023), la población se refiere al conjunto de elementos que se busca investigar o conocer, tomando en consideración ciertas características que serán objeto de estudio o que resultan relevantes para la investigación.

En la presente investigación, la población total asciende a 563 habitantes, conforme al más reciente Censo realizado en Perú en 2017 (INEI, 2023). Esta cifra se traduce en una densidad poblacional de 9,52 habitantes por kilómetro cuadrado.



3.5.2. Muestra

La muestra se refiere a un grupo más pequeño y representativo que se elige de una población o universo con el propósito de llevar a cabo una investigación (Patankar et al., 2023). En este apartado se proporciona información sobre la población, sus características, el tamaño y el método utilizado para seleccionar la muestra, teniendo en cuenta el tipo de muestreo, y se detallan las pruebas realizadas para garantizar su idoneidad en el contexto de la investigación y su posterior análisis (Oseda et al., 2015).

En el contexto de esta investigación, se utilizó la información proporcionada por el INEI (2023), en relación a la localidad de Jipata para llevar a cabo el estudio.

3.5.3. Muestreo

Para Noennig et al. (2023), el muestreo es una decisión estratégica que permite recopilar datos de manera representativa cuando la población es demasiado extensa para abarcar todas las variables requeridas en el estudio. En este caso, se utilizó un enfoque de muestreo para llevar a cabo la evaluación del sistema fotovoltaico de bombeo para riego tecnificado en terrenos agrícolas en la localidad de Jipata.

3.5.4. Diseño de muestreo

Se llevó a cabo un muestreo para medir la reducción de la presión en tres parcelas específicas y comparar el rendimiento de los aspersores en estas áreas



con el uso generalizado de aspersores en todo el sistema de riego en la actualidad (Oseda et al., 2015).

3.5.5. Variables de estudio

3.5.5.1. Variable independiente:

El sistema de riego fotovoltaico.

3.5.5.2. Variable dependiente:

Manejo y gestión de las presiones.

3.5.6. Delimitación temporal

Año 2023.

3.5.7. Delimitación espacial

Comité de riego Jipata.

3.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico, para el cumplimiento de los objetivos son:

3.6.1. Evaluación de la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño

Para la evaluación de la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores en el sistema de riego se ha considerado lo siguiente:

1. Preparación del equipo y material:

Cintas métricas de 30 metros para determinar distancias.



Bandejas de recolección de agua de 1m x 1m.

Cronómetro o temporizador.

Cuaderno de registro y bolígrafo.

2. Selección de muestra:

Se ha elegido una sección representativa del campo de cultivo donde se estaba regando en una parcela los aspersores. Se ha considerado que el terreno es uniforme, con la disposición de los aspersores de parte de los beneficiarios.

3. Medición de caudal:

Se ha abierto la llave para que funciones el aspersor/aspersores que tenían los beneficiarios. Una vez en funcionamiento se ha procedido a medir el caudal de agua suministrado por el sistema durante un período de tiempo específico de 15 minutos. Se ha tomado dicho registro el valor como "Q_{total}" (litros).

4. Evaluación de eficiencia técnica:

Registra la cantidad de agua efectivamente absorbida por el suelo y las plantas en la sección seleccionada durante el mismo período de tiempo que se midió el caudal. Llamaremos a esta cantidad "Q_{efectiva}" (litros).



5. Cálculo de eficiencia técnica:

Cálculo de la eficiencia técnica utilizando la fórmula:

$$\text{Eficiencia Técnica (\%)} = (Q_{\text{efectiva}} / Q_{\text{total}}) \times 100 \quad (5)$$

6. Evaluación de uniformidad de aspersión:

Se ha coloca las bandejas de recolección de agua en dos puntos diferentes puntos de la sección seleccionada, a distancias iguales de los aspersores.

7. Activación del sistema de riego:

Se activa el sistema de riego y permite que funcione durante un período de tiempo fijo, como 15 minutos.

8. Medición de agua recogida:

Después del período de riego, se ha medido la cantidad de agua recolectada en cada bandeja; registrando las cantidades recogidas en litros para cada bandeja.

9. Cálculo de uniformidad de aspersión:

Cálculo del promedio de la cantidad de agua recogida en todas las bandejas. A esta cantidad de denomina promedio "Q_promedio" (litros). Se determina la cantidad de agua recogida en la bandeja que recibió menos agua. Llamaremos a esta cantidad "Q_mínimo" (litros). Cálculo de la uniformidad de aspersión utilizando el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU):



$$CU = [(Q_{\text{promedio}} - Q_{\text{mínimo}}) / Q_{\text{promedio}}] \times 100 \quad (6)$$

3.6.2. Análisis de los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego

Para el análisis se ha seguido la siguiente secuencia:

1. Identificación de recursos necesarios:

Se ha enumerado todos los recursos necesarios para el funcionamiento del sistema de riego, que pueden incluir agua, energía eléctrica, combustible, mano de obra, insumos químicos, repuestos y otros materiales.

2. Recopilación de datos:

Se reúne los datos necesarios para calcular los costos de operación y mantenimiento. Esto puede incluir facturas de servicios públicos, registros de consumo de combustible, registros de horas de trabajo, precios de insumos, entre otros.

3. Categorización de costos:

Se divide los costos en categorías relevantes, como costos de agua, costos energéticos, costos de mano de obra, costos de insumos, costos de repuestos y costos de mantenimiento programado.

4. Cuantificación de costos:

Cálculo los costos anuales de cada categoría utilizando la información recopilada.

Esto implica el promedio de gastos mensuales o anuales que se van a utilizar.



3.6.3. Determinación del nivel de organización en el sistema de riego implementado

Para la evaluación del nivel de organización y coordinación en el sistema de riego implementado para asegurar un funcionamiento eficiente y efectivo, se ha seguido los siguientes pasos:

1. Identificación de actores clave:

Identificación a todas las partes involucradas en el sistema de riego, como agricultores, técnicos, administradores, autoridades locales, entre otros. Establece quiénes son los actores clave para la organización y coordinación, que involucrando en el manejo y gestión de los recursos hídricos.

2. Análisis de roles y responsabilidades:

Examina los roles y responsabilidades de cada actor identificado en el paso anterior. ¿Qué funciones desempeñan en el sistema de riego? ¿Cuáles son sus responsabilidades específicas?

3. Revisión de documentación:

Recopila y revisa documentos relevantes, como acuerdos de cooperación, contratos, normativas, y cualquier otro documento que defina la organización y coordinación en el sistema de riego.

4. Identificación de desafíos y oportunidades:

Identifica los desafíos y obstáculos específicos que afectan la organización en el sistema de riego. También, busca oportunidades para fortalecer la coordinación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Conforme a los objetivos planteados en la presente investigación, los resultados son los siguientes:

4.1. RESULTADOS

Evaluación de la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño

Para el logro del presente objetivo se ha realizado el diseño agronómico e hidráulico para el sistema de riego Jipata:

Tabla 5

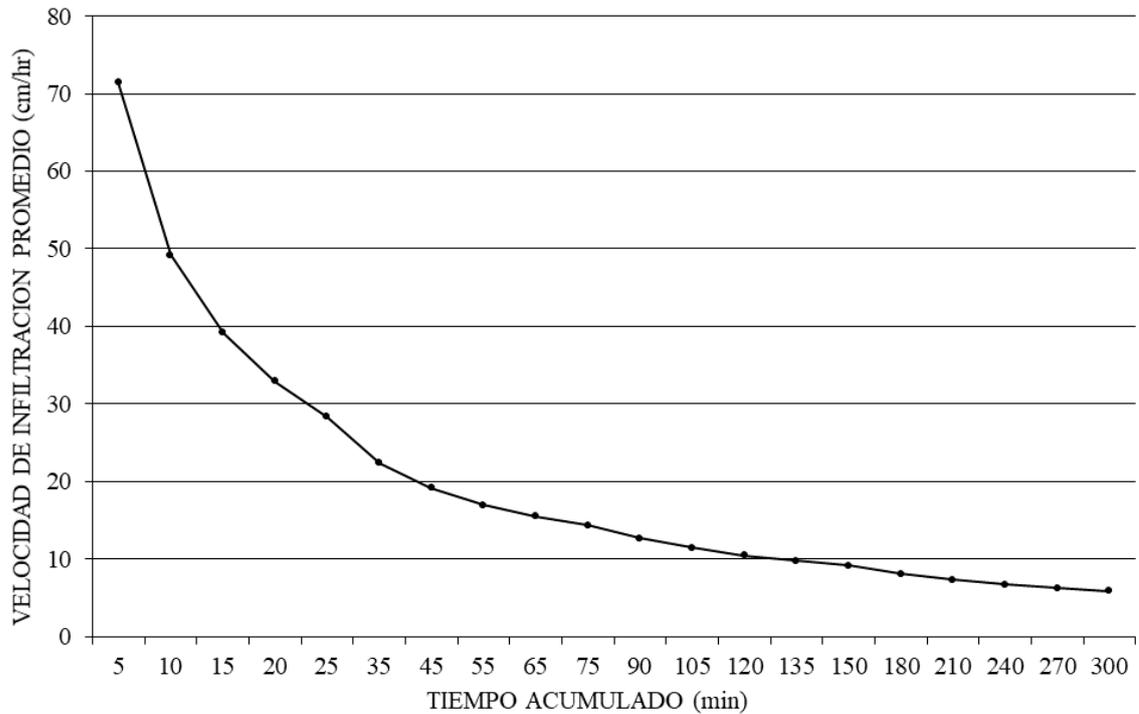
Prueba de infiltración

Hora	Tiempo (min)		Lectura (cm)	Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad Infiltrada (cm/hr)	
	Parcial	Acumulado		Parcial	Acumulada	Instantanea	Promedio
1	2	3	4	5	6	7	8
9,10	0	0	0	0	0	0	0
9,15	5	5	5,95	5,95	5,95	71,40	71,40
9,20	5	10	8,20	2,25	8,20	27,00	49,20
9,25	5	15	9,79	1,59	9,79	19,08	39,16
9,30	5	20	10,96	1,17	10,96	14,04	32,88
9,35	5	25	11,80	0,84	11,80	10,08	28,32
9,45	10	35	13,05	1,25	13,05	7,50	22,37
9,55	10	45	14,35	1,30	14,35	7,80	19,13
10,05	10	55	15,50	1,15	15,50	6,90	16,91
10,15	10	65	16,80	1,30	16,80	7,80	15,51
10,25	10	75	17,90	1,10	17,90	6,60	14,32
10,40	15	90	18,95	1,05	18,95	4,20	12,63
10,55	15	105	20,02	1,07	20,02	4,28	11,44
11,10	15	120	20,95	0,93	20,95	3,72	10,48
11,25	15	135	21,90	0,95	21,90	3,80	9,73
11,40	15	150	22,80	0,90	22,80	3,60	9,12
12,10	30	180	24,20	1,40	24,20	2,80	8,07
12,40	30	210	25,50	1,30	25,50	2,60	7,29
13,10	30	240	26,80	1,30	26,80	2,60	6,70
13,40	30	270	28,10	1,30	28,10	2,60	6,24
14,10	30	300	29,40	1,30	29,40	2,60	5,88

La prueba de infiltración realizada en la zona de riego y en un área de cultivo, para lo cual se ha tomado en cuenta según la Tabla 5.

Figura 9

Curva de infiltración, tiempo acumulado vs infiltración promedio



Según la figura anterior se ha llegado a los siguientes resultados:

A) Función de la velocidad de infiltración instantánea (I):

$$I = \frac{d(I_{cum})}{dt} \quad (7)$$

$$I = 1,296 * T^{-0.62} \quad (8)$$

B) Tiempo y velocidad básica de infiltración (VBI):

Tb = -600 b (en minutos), reemplazando el Tb = 373 min.

Entonces la tasa de la velocidad básica de infiltración (V.B.I) es:

$$I_b = 0,033 \text{ cm/min} = 19,51 \text{ mm/hora}$$

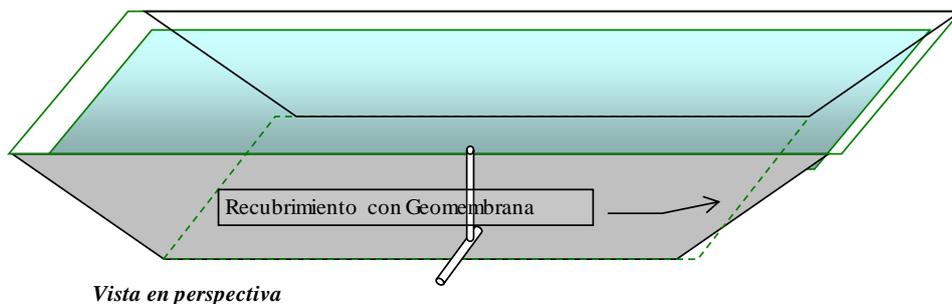
Hospital and González (2021), en su estudio también considero la prueba de infiltración antes del diseño del riego por aspersión en el cual demostró que la infiltración era mayor que la pluviometría del aspersor. Autores como Jaimes and Alvarez (2020), realizo el estudio en áreas agrícolas; Tirado (2021), realizó dicha prueba para el riego en áreas verdes.

Cálculo de capacidad del reservorio

Para la fuente de agua se ha calculado el reservorio que si cumple con lo que está en el diseño original del proyecto.

Caudal de la fuente =	6,5 l/s	→	Equivalente	23,4 m ³ / h
Reservorio se llena en 6 horas				140,4 m ³

Volumen del reservorio = 140



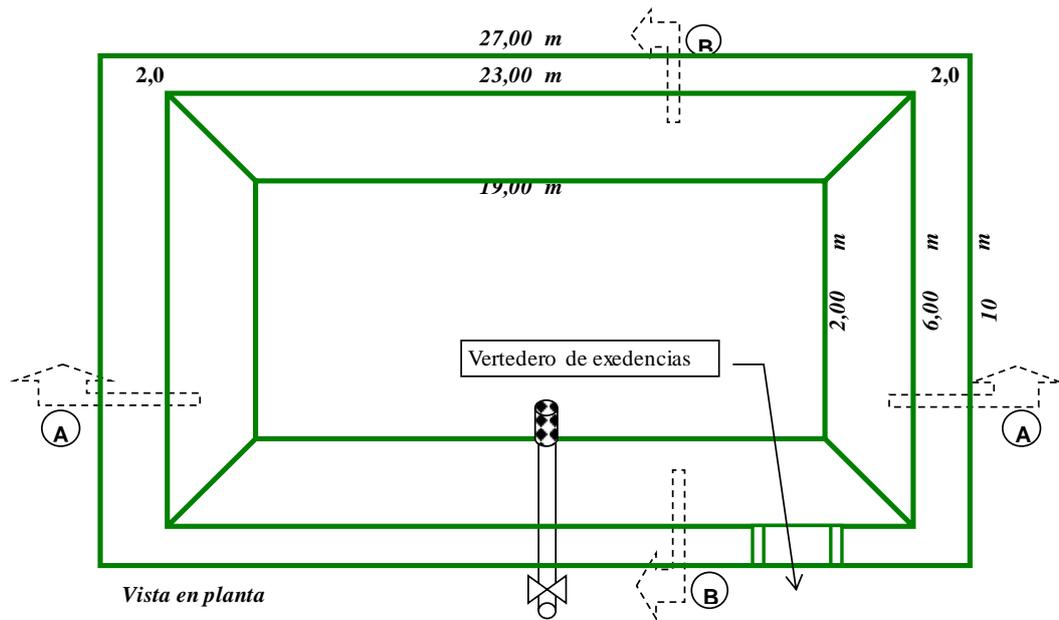
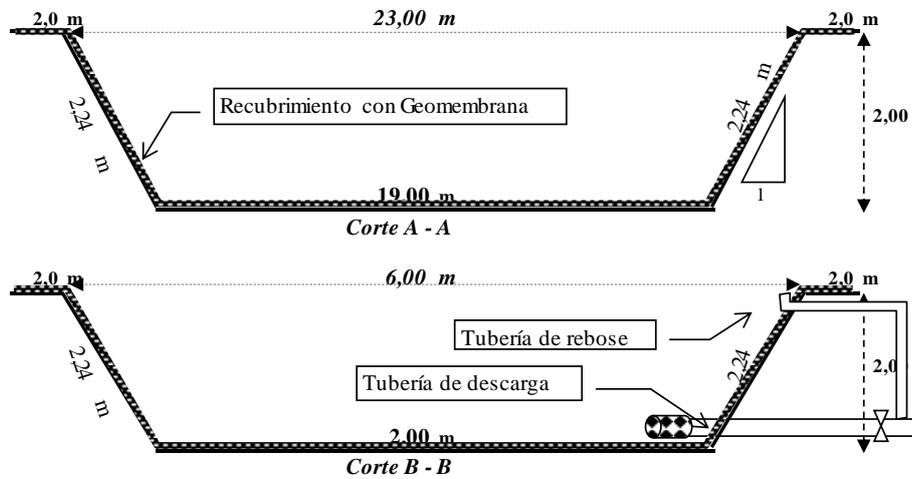


Figura 10

Vista del reservorio de geomembrana



Para el bombeo de agua se ha realizado el cálculo de la carga o potencia a utilizar para la impulsión de la captación hacia el reservorio, en vista que el expediente original no cuenta con este cálculo de la estimación de la carga.

Tabla 6

Estimación de carga

Equipo	Cantidad	Consumo en vatios	Horas de uso al día	Consumo energía vatios hora
Bomba de 12 HP	1,00	3.500,00	5,00	17.500,00
	Potencia máxima	3.500,00		
Total consumo energía				17.500,00

Seguidamente se hizo el cálculo de los paneles solares considerando la ubicación en la región de Puno, provincia de Moho, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7

Paneles solares

Región ubicación	Consumo carga corregido (w)	Horas de sol (mapa)	Capacidad paneles
Moho - Puno	19.250,00	6,00	3.208,33

Según el cálculo se tiene los vatios hora capacidad comercial en 120; número de paneles 26.74 y número de paneles a adquirir 30 unidades.

Los autores como Tirado (2021) y Dávalos (2019), realizaron el cálculo de paneles calcularon de acuerdo a la necesidad en la cantidad de 55 y 72 paneles de 120 watt, que para nuestro caso solo se ha requerido 30 unidades de paneles solares, menor a los demás autores, consideramos que está en función del área a regar.

Seguidamente se ha calculado la cedula y calendario de cultivo, según la siguiente tabla para un área de 20 hectáreas.

Tabla 8

Cedula y calendario de cultivo

Cultivo	Area	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Papa	6,00	-							-	-	-	-	-
Avena forrajera	2,00	-							-	-	-	-	-
Alfalfa	7,00												
Hortalizas	1,00												
Habas verde	4,00	-								-	-	-	-
Total de área (has.)	20,00	8,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	12,00	8,00	8,00	8,00	8,00

Para el cálculo del coeficiente de cultivo ponderado (Kcp), se han utilizado los siguientes datos:

Información geográfica: Latitud: 15°16'58" sur; longitud: 69°38'15" oeste y altitud: 3825 hasta 3875 m.s.n.m.

Tabla 9

Cálculo del coeficiente de cultivo ponderado (kcp)

N°	CEDULA DE CULTIVO	AREA (Hás)	SET		OCT		NOV		DIC		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO			
			Kc	KcP																								
1	Papa	6,00	-	-	0,200	0,060	0,200	0,060	0,750	0,225	1,150	0,345	0,850	0,255	0,850	0,255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Avena forrajera	2,00	-	-	0,200	0,020	0,200	0,020	0,750	0,075	0,750	0,075	0,400	0,040	0,400	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Alfalfa	7,00	0,500	0,438	0,500	0,175	0,500	0,175	0,500	0,175	0,500	0,175	0,500	0,175	0,500	0,175	0,500	0,292	0,500	0,438	0,500	0,438	0,500	0,438	0,500	0,438		
4	Hortalizas	1,00	0,200	0,025	0,500	0,025	0,200	0,010	0,500	0,025	0,500	0,025	0,500	0,025	0,500	0,025	0,500	0,042	0,500	0,063	0,500	0,063	0,500	0,063	0,500	0,063		
6	Habas verde	4,00	-	-	0,300	0,060	0,300	0,060	0,350	0,070	0,500	0,100	1,000	0,200	0,500	0,100	0,200	0,067	-	-	-	-	-	-	-	-		
AREA TOTAL (Hás)		20,00																										
Areas de cultivo (hás/mes)		8,00	20,00		12,00		8,00		8,00		8,00		8,00															
Kc ponderado (Kcp)			0,463		0,340		0,325		0,570		0,720		0,695		0,595		0,400		0,500		0,500		0,500		0,500			

Para el diseño agronómico también fue necesario todos los cálculos aquí presentados en esta investigación y también los siguientes autores realizaron dicho calculo como son: Jara and Ramos (2018) y Clavitea (2021).

Tabla 10

Información metereológica

Temperatura	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Maxima °C	13,10	12,60	12,30	12,10	9,80	0,00	7,50	9,50	11,70	12,60	13,80	13,10
Minima °C	10,90	10,30	10,00	9,40	8,10	0,00	6,10	7,50	10,10	10,30	12,80	11,60
Media °C	11,90	11,60	11,30	10,20	8,80	7,40	6,90	8,50	10,80	11,60	13,20	12,50
Precipitación Efectiva (mm)	66,73	70,16	53,20	20,14	3,05	3,42	0,00	1,80	3,42	30,79	11,30	66,79
Humedad Relativa %	67,30	70,60	69,90	67,00	60,30	58,80	54,70	52,90	56,50	70,60	55,20	63,50
Veloc. Viento (m/s)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00
Horas de Sol (horas)	4,00	4,38	4,78	6,14	7,15	7,84	8,00	7,62	6,63	6,39	5,50	4,65

Tabla 11

Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP)

Nº	CONCEPTO	UND	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	T° media mensual (°C)	°C	10,80	11,60	13,20	12,50	11,90	11,60	11,30	10,20	8,80	7,40	6,90	8,50
2	T° media mensual (°F)	°F	51,44	52,88	55,76	54,50	53,42	52,88	52,34	50,36	47,84	45,32	44,42	47,30
3	Humedad Relativa (HR) %	%	56,50	70,60	55,20	63,50	67,30	70,60	69,90	67,00	60,30	58,80	54,70	52,90
4	Factor Mensual de Latitud (MF) (mm)	mm	2,131	2,436	2,583	2,738	2,707	2,326	2,334	2,937	1,700	1,500	1,812	1,867
5	Factor de Correccion por Humedad Relat.(CH)	-	1,000	0,900	1,000	1,000	0,949	0,900	0,911	0,954	1,000	1,000	1,000	1,000
6	Factor de Correccion por altura (CE)	-	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077
Evapotranspiracion Potencial (EIP)		mm/mes	118,06	124,87	155,12	160,71	147,84	119,23	119,82	151,90	87,59	73,21	86,69	95,11
		mm/día	3,94	4,03	5,17	5,18	4,77	4,26	3,87	5,06	2,83	2,44	2,89	3,07

La ETP máxima: 5,18 mm/día, el cual se ha utilizado en la tabla 12, para el cálculo de la demanda de agua.

Tabla 12

Cálculo de demanda de agua

Nº	CONCEPTO	UND	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	Coefficiente : Kc		0,463	0,340	0,325	0,570	0,720	0,695	0,595	0,400	0,500	0,500	0,500	0,500
2	Area de Cultivo	Hás	8,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	12,00	8,00	8,00	8,00	8,00
3	Evapotranspiración Potencial (ETP)	mm/mes	118,06	124,87	155,12	160,71	147,84	119,23	119,82	151,90	87,59	73,21	86,69	95,11
4	Evapotranspiración Real (ETR =Kc*ETP)	mm/mes	54,60	42,46	50,41	91,61	106,44	82,87	71,29	60,76	43,80	36,61	43,34	47,55
5	Precipitación Media (Pm)	mm/mes	22,20	49,40	81,90	110,00	177,90	135,60	117,70	55,50	6,20	7,40	2,70	12,70
6	Precipitación Efectiva (PPef)	mm/mes	3,42	30,79	11,30	66,79	66,73	70,16	53,20	20,14	3,05	3,42	0,00	1,80
7	Lámina de Riego Neta (LRN= ETR-PPef)	mm/mes	51,18	11,67	39,11	24,82	39,71	12,71	18,09	40,62	40,75	33,19	43,34	45,75
8	Eficiencia de Riego (Efr)	%	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
9	Lámina de Riego Bruta (LRB=LRN/Efr)	mm/mes	68,24	15,56	52,15	33,09	52,95	16,94	24,13	54,16	54,33	44,25	57,79	61,01
10	Volumen de Agua/Há	M3/Há	682	156	522	331	530	169	241	542	543	442	578	610
11	Días del Mes	Días	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	30	31
12	Módulo de Riego (24 horas)	Lt/seg/há	0,26	0,06	0,20	0,12	0,20	0,07	0,09	0,21	0,20	0,17	0,22	0,23
13	Módulo de Riego (20 horas)	Lt/seg/há	0,32	0,07	0,24	0,15	0,24	0,08	0,11	0,25	0,24	0,20	0,27	0,27
14	Módulo de Riego (18 horas)	Lt/seg/há	0,35	0,08	0,27	0,16	0,26	0,09	0,12	0,28	0,27	0,23	0,30	0,30
15	Módulo de Riego (16 horas)	Lt/seg/há	0,39	0,09	0,30	0,19	0,30	0,11	0,14	0,31	0,30	0,26	0,33	0,34
16	Módulo de Riego (14 horas)	Lt/seg/há	0,45	0,10	0,34	0,21	0,34	0,12	0,15	0,36	0,35	0,29	0,38	0,39
17	Módulo de Riego (12 horas)	Lt/seg/há	0,53	0,12	0,40	0,25	0,40	0,14	0,18	0,42	0,41	0,34	0,45	0,46
18	Requerimiento Total Caudal (Q) 24 h	m3/seg	0,002	0,001	0,004	0,002	0,004	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002
19	Requerimiento Total Caudal (Q) 24 h	l/s	2,106	1,162	4,024	2,471	3,954	1,401	1,802	2,508	1,623	1,366	1,784	1,822

Según la tabla anterior se ha calculado la demanda de agua, el cual satisface para la operación del proyecto.

Tabla 13

Balance hídrico y caudal de diseño

	CONCEPTO	UND	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	Requerimiento Total de Caudal (Q) para el Proyecto	l/s	2,11	1,16	4,02	2,47	3,95	1,40	1,80	2,51	1,62	1,37	1,78	1,82
2	Descarga Mínima del Riachuelo	l/s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
3	Balance	l/s	2,39	3,34	0,48	2,03	0,55	3,10	2,70	1,99	2,88	3,13	2,72	2,68

Con el diseño agronómico se ha procedido el diseño del del sistema de riego por aspersión, el cual se ha seguido según el siguiente procedimiento:

A. Información requerida:

Evapotranspiración potencial ETP = 5,18 mm/día



Coeficiente del cultivo	$K_c = 0,72$	Máximo
Evapotranspiración real	$ETR = 3,73$	mm/día
Área ha irrigar calculado	$A = 17,00$	Has
Área ha irrigar según área real	$A = 7,92$	Has
Área ha irrigar	$A = 7,92$	Has
Velocidad del viento	$V_v = 3,00$	m / s
Velocidad de infiltración básica	$I_b = 19,5$	mm/h

Cultivo proyectado: papa; avena forrajera; alfalfa; hortalizas y habas verde.

Jornal, horas de trabajo	$J = 24$	horas/día
Eficiencia de riego	$E_r = 75$	%
Caudal diseño	$Q_d = 4,110$	lt / seg
Caudal disponible	$Q_d = 4,50$	lt / seg
$Q_d = 4,50$	lt / seg	

B. Cálculos de demanda hídrica

1.- Lamina neta (Ln):	$Ln = 30,24$	mm
Lamina neta máx	$Ln = 3,024$	cm
2.- Lamina Real o Bruta (Lr):	$L_r = (Ln/E_r)$	$L_r = 40,32$ mm
Lamina neta (Ln):	$Ln = 3,02$	mm
Eficiencia de Riego	$E_r = 75$	%
3.- Intervalo de riego (IR):	$IR = Ln / ETR$	$IR = 9,0$ Días
Evapotranspiración real	$ETR = 3,73$	mm/dia
Lamina neta (Ln)	$Ln = 30,24$	mm
$IR = 8,10$	días	
4.- Caudal preliminar: $Q = (27,8 * L_r * A)$		
$Q = 4,110$ lt/seg	$(IR * J)$	



Lamina Real $L_r = 40,32 \text{ mm} \quad 4,032 \text{ cm}$

Área ha Irrigar $A = 7,92 \text{ Has}$

Intervalo de riego $IR = 9,0 \text{ Días}$

Tiempo de trabajo $J = 24,00 \text{ horas/día}$

5.- Taza de aplicación: $T_a = L_r / J \quad T_a = 1,680 \text{ mm/h}$

Lamina Real $L_r = 40,32 \text{ mm} \quad 4,032 \text{ cm}$

Tiempo de trabajo $J = 24,00 \text{ horas/día}$

6.- Caudal para selección de aspersor:

$$q_a = \frac{E_a * E_l * T_a}{3600} \quad (9)$$

$q_a = 0,05 \text{ lt/seg}$

Taza de aplicación: $T_a = 1,680 \text{ mm/h}$

C. Características hidráulicas de los aspersores

Especificaciones de diseño de los aspersores marca: VYR 35

Diámetro de boquillas del Aspersor $f = 4,0 \text{ mm}$

Espaciamiento de Aspersores $E_a = 10,5 \text{ m}$

Espaciamiento de Laterales $E_l = 10,5 \text{ m}$

Pluviometría del Aspersor $P_p = 5,442 \text{ mm / h}$

Presión de trabajo en Atm. $P_o = 1,00 \text{ Atm}$

Caudal del aspersor $q_a = 0,60 \text{ m}^3 / \text{h} \quad 0,167 \text{ lt / seg}$

Diámetro alcance de Chorro $D = 21,0 \text{ m}$

D. Cálculos de disposición de tuberías y aspersores

1.- Comprobación del Espaciamiento: $E = 10,50 \text{ m}$



Velocidad del Viento $V_v = 3,00 \text{ m/s}$

Diámetro alcance de chorro $D = 21,0 \text{ m}$

$E_a = 10,50 \text{ m}$

Valores de E según V_v	
V_v (m/s)	Espaciamiento
< 2	0,60 x D
2 a 3.5	0,50 x D
3.5 a 4.5	0,45 x D
> 4.5	0,40 x D

En este caso: $E = 0,50 \times D$

2.- Obtención de la pluviometría real: $P_p = q_a * 1000 = 5,44 \text{ mm/h}$

$E_a * E_l$

Caudal del aspersor $q_a = 0,6 \text{ m}^3/\text{h} = 0,167 \text{ lt/seg}$

Espaciamiento de Aspersores $E_a = 10,5 \text{ m}$

Espaciamiento de Laterales $E_l = 10,5 \text{ m}$

Comprobación de la Pluviometría: $P_p < I_b$

Pluviometría del Aspersor $P_p < I_b$ Velocidad de Infiltración Básica

$5,4 < 19,5 \text{ mm/h}$

3.- Tiempo de Aplicación (T_a): $T_a = L_r / P_p = 8,00 \text{ horas}$

Lamina Real (L_r) $L_r = 40,32 \text{ mm}$

Pluviometría del Aspersor $P_p = 5,4 \text{ mm/h}$

$T_a = 7,4 \text{ horas}$

4.- No de Aspersores en Operación Simultanea: $N_a = Q_d / q_a$

No Asper = 25,00

Caudal Disponible $Q_d = 4,11 \text{ lt/seg}$

Caudal del Aspersor $q_a = 0,6 \text{ m}^3/\text{h} = 0,167 \text{ lt/seg}$



No de aspersores en operación simultanea con reservorio No Asper = 27,00

Caudal del manantial $Q_{Mnntl} = 4,50$ lt / seg

Tiempo de Llenado $T_{Llen} = 0,05$ horas

Volumen Reservorio $Volum. = 0,00$ m³

Tiempo de Vaciado $T_{Vas} = 0,10$ horas

Caudal del Reservorio $Q_{Reser.} = 0,00$ lt / seg

Caudal del aspersor $q_a = 0,167$ lt / seg

No Aspersores Reservorio $NaR = 0$

No Aspersores Manantial $NaM = 27$

5.- Numero de Aspersores: $Na = 27,0$ Aspersores en total

Cada lateral con 03 Aspersores $Na_{Lat.} = 9,0$ Laterales

6.- No de posiciones /día /lateral: $Np/dia/lat. =$ Jornal

$Np/ d/ lat. = 3,00$ Posiciones/ Dia

$T_a + T_c$

Jornal, horas de trabajo $J = 24$ horas/dia

Tiempo de Aplicación (T_a) $T_a = 8$ horas

Tiempo de Cambios (T_c) $T_c = 30$ minutos 0,50 horas

$Np/d/lat. = 2,82$ Posiciones

7.- Superficie Mínima de riego: $SMR = (ST / IR) * (7/6)$

$SMR = 1,027$ Has/día

Superficie de Calculo (Área Unit.) $ST = 7,92$ Ha

Verifica el área con el balance hídrico

Intervalo de riego (IR) $IR = 9$ días

8.- Superficie de Riego de cada Lateral: $SRL = Na * Ara * (Np/ día /lat)$

$SRL = 1,403$ Has/dia



Numero de Aspersores en total $N_a = 27,0$ Aspersores en 9 Laterales

Área de Riego de un Aspersor $\text{Área} = 173,18 \text{ m}^2$

Numero de posiciones /día /lateral $N_p/\text{ día}/\text{ lat.} = 3,00$ Posiciones en un Día

$\text{SRL} = 14028 \text{ m}^2/\text{día}$

9.- Área Total que se Llegara a Regar $\text{ATR} = \text{SRL} * \text{IR} = 12,625 \text{ Has}$

Superficie de Riego Cada Lateral: $\text{SRL} = 1,403 \text{ Has}/\text{dia}$

Intervalo de riego (IR) $\text{IR} = 9 \text{ días}$

E. Cálculo de caudales de las tuberías

En Línea 01

1.- Caudal por lateral: $Q_l = N_a * q_a$

$$Q_l = 0,00 \text{ m}^3/\text{hora} \quad 0,00 \text{ lts}/\text{seg.}$$

Caudal del aspersor $q_a = 0,60 \text{ m}^3/\text{h}$

Numero de Aspersores por lateral: $N_a = 0,0$ Aspersores en un Lateral

2.- Caudal por principal: $Q_p = Q_l * N_L$

$$Q_p = 0,00 \text{ lts}/\text{seg.}$$

Caudal por lateral: $Q_l = 0,00 \text{ lts}/\text{seg.}$

Numero de Laterales Necesarios: $N_L = 2,0$ Laterales

3.- Caudal por conductor: $Q_c = Q_p * N_p$ $Q_c = 0,00 \text{ lts}/\text{seg.}$

Caudal por lateral: $Q_p = 0,00 \text{ lts}/\text{seg.}$

Numero de Tuberías Principales: $N_P = 0,5$ Principales

En Línea 02

1.- Caudal por lateral: $Q_l = N_a * q_a$

$$Q_l = 1,80 \text{ m}^3/\text{hora} \quad 0,50 \text{ lts}/\text{seg.}$$



Caudal del aspersor q_a	$q_a = 0,6$	m^3/h
Numero de Aspersores por lateral:	$N_a = 3,0$	Aspersores en un Lateral
2.- Caudal por principal:	$Q_p = Q_l * N_L$	$Q_p = 0,50$ lts/seg.
Caudal por lateral:	$Q_l = 0,50$	lts/seg.
Numero de Laterales Necesarios:	$N_L = 1,0$	Laterales
3.- Caudal por conductor:	$Q_c = Q_p * N_p$	$Q_c = 0,50$ lts/seg.
Caudal por lateral:	$Q_p = 0,50$	lts/seg.
Numero de Tuberías Principales:	$N_P = 1,0$	Principales

F. Diámetro preliminar de tuberías

En Línea 01

1.- Diámetro preliminar de Tubería lateral: $d = 15,5 * (Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por lateral: $Q_l = 0,00$ lts/seg. $0,00$ $m^3/hora$

Diámetro de la Tubería $d = 0,0$ mm $0,00$ pulg.

$d = 1/2$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 3/4$ Pulg.

2.- Diámetro preliminar de Tubería Principal: $d = 15,5 * (Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por Principal: $Q_p = 0,00$ lts/seg. $0,00$ $m^3/hora$

Diámetro de la Tubería $d = 0,0$ mm $0,00$ pulg.

$d = 1/2$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 1 1/2$ Pulg.

3.- Diámetro preliminar de Tubería Conducción: $d = 15,5 * (Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por Conductor: $Q_c = 0,00$ lts/seg. $0,00$ $m^3/hora$

Diámetro de la Tubería $d = 0,0$ mm $0,00$ pulg.

$d = 1/2$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 1 1/2$ Pulg.



En Línea 02

1.- Diámetro preliminar de Tubería lateral: $d = 15,5*(Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por lateral: $Q_l = 0,50$ lts/seg. 1,80 m³/hora

Diámetro de la Tubería $d = 20,8$ mm 0,82 pulg.

$d = 1$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 3/4$ Pulg.

2.- Diámetro preliminar de Tubería Principal: $d = 15,5*(Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por Principal: $Q_p = 0,50$ lts/seg. 1,80 m³/hora

Diámetro de la Tubería $d = 20,8$ mm 0,82 pulg.

$d = 1$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 1$ Pulg.

3.- Diámetro preliminar de Tubería Conducción: $d = 15,5*(Q_t)^{0,5}$ mm

Caudal por Conductor: $Q_c = 0,50$ lts/seg. 1,80 m³/hora

Diámetro de la Tubería $d = 20,8$ mm 0,82 pulg.

$d = 1$ Pulg. Diámetro Comercial

Usaremos $d = 1\ 1/2$ Pulg.

G. Pérdida de carga por fricción en cada tubería y del sistema

1.- Pérdida de Carga en la Tubería Lateral:

$$J = 1,21 * 10^{10} * \{(Q/C)^{1,852}\} * (D^{-4,87})$$

Caudal en la Tubería $Q = 0,00$ lts/seg.

Coefic. de Rugosidad en Tuberías $C = 150$ PVC

Diámetro de Tubería $D = 3/4$ Pulg. 19,05 mm

Pérdida de Carga Unitaria $J = 0,000$ m/m

Longitud de la Tubería $L = 30,0$ m



Numero de Aspersores por lateral: $N_a = 9,0$ Aspersores en un Lateral

Factor de perdida por derivaciones $F = 0,528$ Para 0,00 Derivaciones

$$J_t = L * J * F \quad J_t = 0,000 \text{ m}$$

2.- Perdida de carga en la tubería principal:

$$J = 1,21 * 10^{10} * \{(Q/C)^{1,852}\} * (D^{-4,87})$$

Caudal en la Tubería $Q = 0,00$ lts/seg.

Coefficiente de rugosidad en tuberías $C = 150$ PVC

Diámetro de Tubería $D = 1 \frac{1}{2}$ Pulg. 38,1 mm

Perdida de Carga Unitaria $J = 0,00$ m/m

Longitud de la Tubería $L = 275,0$ m

$$J_t = L * J \quad J_t = 0,00 \text{ m}$$

3.- Perdida de carga en la tubería de conducción:

$$J = 1,21 * 10^{10} * \{(Q/C)^{1,852}\} * (D^{-4,87})$$

Caudal en la Tubería $Q = 0,00$ lts/seg.

Coefficiente de rugosidad en tuberas $C = 150$ PVC

Diámetro de tubería $D = \frac{1}{2}$ Pulg. 12,7 mm

Perdida de carga unitaria $J = 0,000$ m/m

Longitud de la tubería $L = 0$ m

$$J_t = L * J \quad J_t = 0,00 \text{ m}$$

4.- Perdida de carga en la tubería de conducción del sistema

$$J = 1,21 * 10^{10} * \{(Q/C)^{1,852}\} * (D^{-4,87})$$

Caudal en la tubería $Q = 0,00$ lts/seg.

Coefficiente de rugosidad en tuberas $C = 140$ PVC

Diámetro de tubería $D = \frac{1}{2}$ Pulg. 12,7 mm

Perdida de carga unitaria $J = 0,000$ m/m



Longitud de la tubería $L = 0 \text{ m}$

$J_t = L * J$ $J_t = 0,00 \text{ m}$

3.- Pérdida de Carga Total: $J_{TS} = J_T + J_{Ac}$

Descripción	Pérdida de Carga
Pérdida de carga en la tubería lateral:	$J_t = 0,00 \text{ m}$
Pérdida de carga en la tubería principal:	$J_t = 0,00 \text{ m}$
Pérdida de carga en la tubería de conducción del sistema.	$J_t = 0,00 \text{ m}$
Sumatoria de pérdida de carga en tuberías	$J_T = 0,00 \text{ m}$
Pérdida de carga por Accesorios	$J_{Ac} = 20\% \times J_t$
	$J_{Ac} = 0,00 \text{ m}$
Pérdida de carga total del sistema	$J_{TS} = 0,00 \text{ m}$

H. Carga requerida para el funcionamiento del sistema

1.- Carga en la Cabecera del Lateral: $P_{lm} = P_o + 3/4 * h_f + P_e + Z/2$

Presión de trabajo del aspersor $P_o = 1,00 \text{ Atm } 10,0 \text{ m}$

Pérdida de carga en la tubería $h_f = 0,00 \text{ m}$

Altura del elevador del aspersor: $P_e = 0,70 \text{ m}$

Pendiente en dirección de tubería $S = -0,0100 \text{ m/m}$

Longitud de tubería $L = 30,00 \text{ m}$

Diferencia de altura $Z = -0,30 \text{ m}$

$P_{lm} = 10,6 \text{ m}$

Pendiet.	Cuando
(+)	Sube
0	Horizont.
(-)	Baja

Verificación de la Carga Ultima $20\% P_o > h_f$

$20\% P_o > h_f$



$$2,0 > 0,00 \text{ m}$$

2.- Carga en la cabecera de la tubería principal: $P_{pm} = P_{lm} + h_f + Z$

Carga en la cabecera del lateral $P_{lm} = 10,6 \text{ m}$

Perdida de carga en la tubería $h_f = 0,00 \text{ m}$

Pendiente en dirección de tubería $S = -0,0120 \text{ m/m}$

Longitud de tubería $L = 275,00 \text{ m}$

$$Z = -3,30 \text{ m}$$

$$P_{pm} = 7,3 \text{ m}$$

3.- Presión requerida para el sistema: $H_m = P_T + J_{Ac}$

Descripción Carga

Carga en la Cabecera de los Lateral $P_{lm} = 10,55 \text{ m}$

Carga en la tubería principal: $P_{pm} = 7,25 \text{ m}$

Sumatoria de carga requerida en las tuberías $P_T = 7,25 \text{ m}$

Perdida de carga por accesorios $J_{Ac} = 20\% \times J_t = 0,00 \text{ m}$

Carga total requerida para el funcionamiento del sistema $H_m = 7,25 \text{ m}$

La presión en la cabecera de la tubería principal no debe ser menor de: 7,25 MCA

MCA = Metros de columna de agua

I Características del Reservorio

1.- Perdida de carga en la tubería de conducción:

$$J = 1,21 * 10^{10} * \{(Q/C)^{1,852}\} * (D^{-4,87})$$

Caudal en la tubería $Q = 0,00 \text{ lts/seg.}$

Coefficiente de rugosidad en tuberías $C = 150 \text{ PVC}$

Diámetro de tubería $D = 1 \frac{1}{2} \text{ Pulg. } 38,1 \text{ mm}$

Perdida de carga unitaria $J = 0,000 \text{ m/m}$

Longitud de la tubería $L = 200 \text{ m}$



$$J_t = L * J \qquad J_t = 0,00 \text{ m}$$

2.- Cota ubicación de la cámara de carga: Cota O = HMS + Cota 1 3952,44 msnm

$$\text{Cota de cabecera tubería principal} \qquad \text{Cota 1} = 3939,28 \text{ msnm}$$

$$\text{Carga requerida para el func. del sistema} \qquad H_m = 7,25 \text{ m}$$

$$\text{Carga Total Requerida Para el Servicio} \qquad \text{HMS} = 8,00 \text{ m}$$

$$\text{Cota de Ubicación de la Cámara de Carga:} \qquad \text{Cota 0} = 3947,28 \text{ msnm}$$

Esta es la Cota Mínima en la Que debe estar Ubicada la Cámara de Carga

$$\text{Cota Real de Ubicación de la Cámara de Carga: Cota 0} = 3952,44 \text{ msnm}$$

3.- Dimensiones Interiores del Reservorio:

En este caso el sistema de riego está proyectado para funcionar con caudal de Manantial + Reservorio es decir se requiere reservorio de almacenamiento.

Cálculo de Vol. Reservorio

$$V = (Q_d - Q_{disp}) * 10 * 3600 = 14400 \text{ lt} = 14 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal de Diseño} \qquad Q_d = 0,80 \text{ lt/seg}$$

$$\text{Caudal Disp. Manantial} \qquad Q_m = 0,40 \text{ lt/seg}$$

$$\text{Tiempo de Llenado} \qquad t = \text{Vol Reser} / Q_m / 3600 = 10,00 \text{ horas}$$

$$\text{Volumen de Reservorio} \qquad V_r = 14400,00 \text{ litros}$$

$$\text{Caudal del Manantial } Q_m = 0,40 \text{ lt/seg}$$

Por consiguiente, las dimensiones mínimas del reservorio son:

$$\text{Volumen de Agua} \qquad \text{Volumen} = 10 \text{ m}^3$$

$$\text{Largo de la Cámara} \qquad \text{Largo} = 2,60 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la Cámara} \qquad \text{Ancho} = 2,60 \text{ m}$$

$$\text{Altura del Agua} \qquad \text{Altura} = 1,50 \text{ m}$$

Para el cálculo de presione se ha realizado según el plano adjunto en los anexos:

Tabla 14

Presión en hidrantes – turno 01

TRAMO (m)	GASTO (l/s)	NUMERO DE HIDRANTES EN EL TRAMO	LONG. (M)	DIAMETRO (pulg.)	DIAMETR O ASUMIDO (pulg.)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA DE CARGA		COTA PIEZOMETRICA		COTA TERRENO (msnm)		PRESION (m)	
							UNIT (%)	TRAMO (m)	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
RSV-1	0,000000	9,400	368,06	4	1,16	0,01371874	5,05	3860,00	3854,95	3860,00	3822,40	0,00	32,55	
1-2	0,000000	9,400	79,97	4	1,16	0,01371874	1,10	3854,95	3853,85	3822,40	3822,50	32,55	31,35	
2-3	0,000000	4,976	61,38	3	1,09	0,01714833	1,05	3853,85	3852,80	3822,50	3822,60	31,35	30,20	
3-4	2,211667	2,212	138,21	3	0,48	0,00382546	0,53	3852,80	3852,27	3822,60	3822,80	30,20	29,47	
3-5	1,658750	2,765	275,33	3	0,61	0,00578053	1,59	3852,80	3851,21	3822,60	3823,00	30,20	28,21	
5-6	1,105833	1,106	100,00	2	0,55	0,00763046	0,76	3851,21	3850,45	3823,00	3821,50	28,21	28,95	
2-7	0,000000	4,423	85,31	3	0,97	0,01379080	1,18	3853,85	3852,68	3822,50	3822,00	31,35	30,68	
7-8	1,105833	1,106	18,21	2	0,55	0,00763046	0,14	3852,68	3852,54	3822,00	3822,00	30,68	30,54	
7-9	1,105833	3,318	187,28	3	0,73	0,00809940	1,52	3852,68	3851,16	3822,00	3821,50	30,68	29,66	
9-10	1,105833	2,212	141,42	3	0,48	0,00382546	0,54	3851,16	3850,62	3821,50	3821,50	29,66	29,12	
10-11	1,105833	1,106	49,50	2	0,55	0,00763046	0,38	3850,62	3850,24	3821,50	3821,50	29,12	28,74	

Tabla 15

Presión en hidrantes – turno 02

TRAMO (m)	GASTO (l/s)		NUMERO DE FAMILIAS		LONG. (M)	DIAMETRO (pulg.)	ASUMIDO (m)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA DE CARGA		COTA PIEZOMETRICA		COTA TERRENO		PRESION (m)		
	TRAMO	DISÑO	ENEL	TRAMO					UNIT (%)	TRAMO (m)	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)				
RSV-1	0,000000	9,400	0,00	4	1,16	0,01371986	5,05	3860,00	3854,95	3860,00	3822,40	0,00	32,55				
1-12	0,000000	9,400	0,00	4	1,16	0,01371986	0,09	3854,95	3854,86	3822,40	3822,50	32,55	32,36				
12-13	0,000000	9,400	0,00	4	1,16	0,01371986	6,65	3854,86	3848,21	3822,50	3822,10	32,36	26,11				
13-14	1,128000	4,512	3,00	4	0,56	0,00352895	0,75	3848,21	3847,46	3822,10	3822,90	26,11	24,56				
14-15	1,880000	3,384	5,00	4	0,42	0,00207257	0,41	3848,21	3847,80	3822,90	3822,50	25,31	25,30				
15-16	1,504000	1,504	4,00	3	0,33	0,00187440	0,37	3847,80	3847,42	3822,50	3823,50	25,30	23,92				
13-17	1,504000	4,888	4,00	4	0,60	0,00409219	0,82	3848,21	3847,40	3822,10	3821,50	26,11	25,90				
17-18	1,880000	3,384	5,00	4	0,42	0,00207257	0,41	3847,40	3846,98	3821,50	3822,00	25,90	24,98				
18-19	1,504000	1,504	4,00	3	0,33	0,00187440	0,37	3846,98	3846,61	3822,00	3823,50	24,98	23,11				

Tabla 16

Presión en hidrantes – turno 03

TRAMO	(m)	GASTO (l/s)	DISEÑO	NUMERO DE FAMILIAS		LONG. (M)	DIAMETRO (pulg.)	DIAMETR O ASUMIDO (pulg.)	VELOCIDAD (m/s)	PERDIDA DE CARGA		COTA		COTA TERRENO		PRESION	
				ENEL	TRAMO					UNIT	(%)	TRAMO	(m)	PIEZOMETRICA	(msnm)	INICIAL	FINAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)				
RSV-1	0,000000	9,399	36806	4	1,16	0,01371784	5,05	3860,00	3854,95	3860,00	3822,40	0,00	32,55				
1-12	0,000000	9,399	639	4	1,16	0,01371784	0,09	3854,95	3854,86	3822,40	3822,50	32,55	32,36				
12-20	0,000000	9,399	465,19	4	1,16	0,01371784	6,38	3854,86	3848,48	3822,50	3820,80	32,36	27,68				
20-21	0,895167	2,238	16000	3	0,49	0,00390988	0,63	3848,48	3847,86	3820,80	3820,80	27,68	27,06				
21-22	1,342750	1,343	405,00	3	0,29	0,00151965	0,62	3847,86	3847,24	3820,80	3820,80	27,06	26,44				
20-23	0,000000	7,161	11487	4	0,88	0,00829472	0,95	3848,48	3847,53	3820,80	3820,80	27,68	26,73				
23-24	0,000000	4,476	103,70	4	0,55	0,00347680	0,36	3847,53	3847,17	3820,80	3820,50	26,73	26,67				
24-25	1,342750	1,343	15000	2	0,66	0,01092737	1,64	3847,17	3845,53	3820,50	3819,80	26,67	25,73				
24-26	0,447583	3,133	10006	3	0,69	0,00728619	0,73	3847,17	3846,44	3820,50	3820,50	26,67	25,94				
26-27	0,895167	0,895	5004	2	0,44	0,00516116	0,26	3846,44	3846,18	3820,50	3820,00	25,94	26,18				
26-28	0,895167	1,790	10485	3	0,39	0,00258750	0,27	3846,44	3846,17	3820,50	3820,50	25,94	25,67				
28-29	0,895167	0,895	9508	2	0,44	0,00516116	0,49	3846,17	3845,68	3820,50	3820,80	25,67	24,88				
23-30	0,000000	2,686	552,15	3	0,59	0,00547834	3,02	3847,53	3844,50	3820,80	3818,00	26,73	26,50				
30-31	1,342750	1,343	13500	2	0,66	0,01092737	1,48	3844,50	3843,03	3818,00	3819,00	26,50	24,03				
30-32	1,342750	1,343	14500	2	0,66	0,01092737	1,58	3844,50	3842,92	3818,00	3817,50	26,50	25,42				



La evaluación de la eficiencia técnica y la uniformidad de aspersión en los aspersores según el diseño involucra una serie de cálculos que se basan en mediciones específicas.

Para calcular la eficiencia técnica de los aspersores, se ha medido la cantidad total de agua suministrada por el sistema de riego durante un período de tiempo específico, durante 15 minutos, para lo cual lo se ha denominado a esta cantidad "Q_{total}" en litros. Dicha cantidad de agua que efectivamente llegó al suelo y fue absorbida por las plantas en ese mismo período de tiempo, en donde se denominó a esta cantidad "Q_{efectiva}" en litros.

Clavitea (2021), realizó el estudio de CUC máximo y mínimo fue de 87.42% y 55.34%, mientras el DU resultó con un máximo de 80.79% y 26.88% mínimo. Para nuestra investigación se realizó el cálculo se ha utilizado la ecuación 5, en donde se ha calculado la eficiencia técnica, reemplazando en la ecuación 5:

$$\text{Eficiencia Técnica}_1 (\%) = (2 \text{ litros}/4 \text{ litros}) \times 100$$

$$\text{Eficiencia Técnica}_1 (\%) = 50\%$$

$$\text{Eficiencia Técnica}_2 (\%) = (1.50 \text{ litros}/5.50 \text{ litros}) \times 100$$

$$\text{Eficiencia Técnica}_2 (\%) = 27\%$$

Es fundamental destacar que, en lo que respecta a los aspersores utilizados en el sistema de riego, se ha identificado un desafío significativo en términos de eficiencia. El aspersor uno muestra una eficiencia del 50%, mientras que el aspersor dos tiene una eficiencia del 30%. Estos valores están por debajo del estándar deseado, que debería alcanzar al menos el 90% para garantizar una distribución uniforme y efectiva del agua de riego.

Figura 11

Características de los aspersores usados

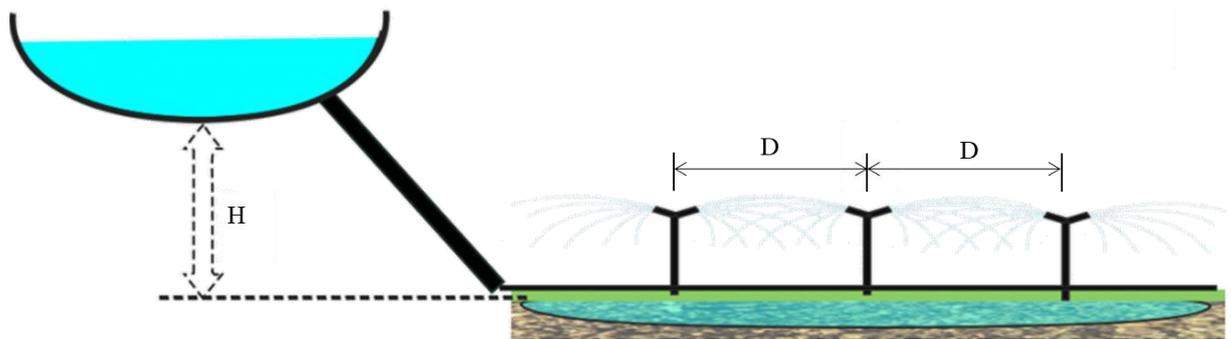


La baja eficiencia de estos aspersores tiene implicaciones directas en la efectividad del sistema de riego en su conjunto. Una eficiencia tan baja significa que una parte considerable del agua aplicada se desperdicia, lo que no solo afecta negativamente la cobertura de riego, sino que también puede tener un impacto en la disponibilidad y el uso eficiente del recurso hídrico.

Para abordar este problema y mejorar la eficiencia del sistema de riego, es necesario llevar a cabo una evaluación detallada de los aspersores utilizados y considerar la posibilidad de reemplazar aquellos que no cumplen con los estándares requeridos. Además, se deben realizar ajustes en la operación y mantenimiento de los aspersores para garantizar un funcionamiento óptimo.

Figura 12

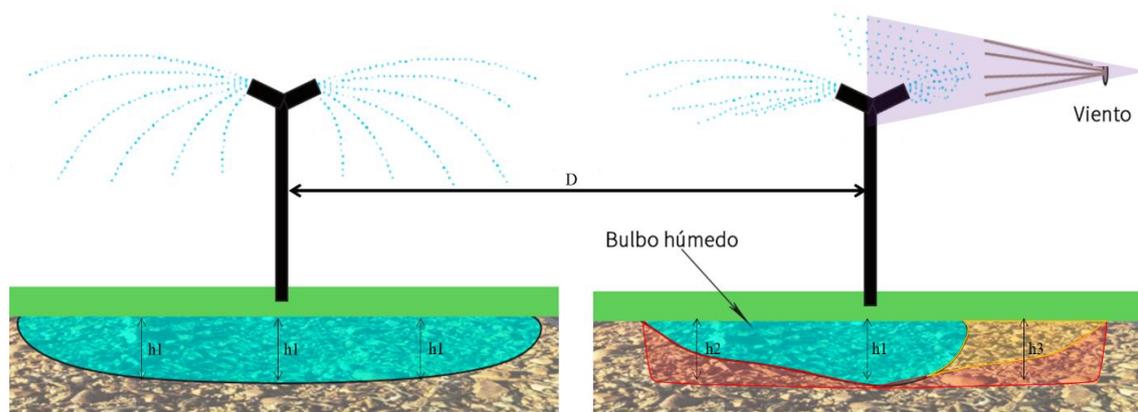
Distanciamiento de los aspersores $D=15m$



Es importante destacar que mejorar la eficiencia de los aspersores no solo contribuirá a un uso más eficiente del agua, sino que también puede tener un impacto positivo en la productividad agrícola al garantizar una distribución uniforme del riego en toda el área cultivada. Este es un paso crucial en el proceso de optimización del sistema de riego y en la búsqueda de una gestión más sostenible de los recursos hídricos en la zona.

Figura 13

Humedecimiento con la influencia del viento $D=30m$



Para el cálculo de la uniformidad de aspersión utilizando el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), se reemplaza en la ecuación 6:

$$CU_1 = [(3 \text{ litros} - 2 \text{ litros}) / 3 \text{ litros}] \times 100$$

$$CU_1 = 33.33\%$$

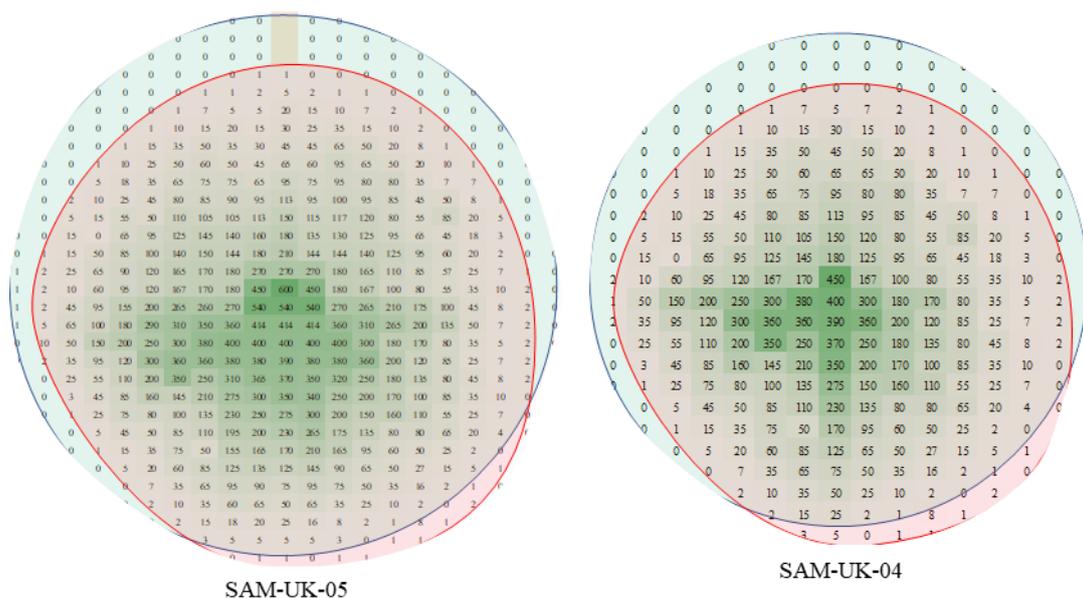
$$CU_1 = [(3.50 \text{ litros} - 1.50 \text{ litros}) / 3.50 \text{ litros}] \times 100$$

$$CU_1 = 57.14\%$$

Es fundamental abordar la cuestión de la uniformidad en la distribución del riego, ya que esto tiene un impacto directo en la eficiencia del sistema. En el caso del aspersor uno, se ha identificado un coeficiente de uniformidad del 33.33%. Esto se debe a que se trata de un aspersor diseñado principalmente para aplicaciones en jardines y utiliza una presión de 4 bares. Por otro lado, el aspersor dos muestra un coeficiente de uniformidad del 57.14%. Aunque este valor es superior al del aspersor uno, aún está lejos del 100%, que es el estándar deseado.

Figura 14

Distribución de los colectores de la pluviometría





La prueba se hizo en un hidrante, a 4 bares (40,78 metros de columna de agua), con una temperatura promedio de 12,5 °C; con una velocidad del viento de 4,50 m/s.

Figura 15

Distribución de los colectores de la pluviometría y prueba de funcionamiento



Una de las principales razones detrás de esta falta de uniformidad en la distribución del riego es el uso de aspersores que no son adecuados para la presión de trabajo en cada hidrante. Esto subraya la importancia de seleccionar y utilizar aspersores que sean compatibles con la presión específica en cada punto del sistema de riego. Para lo cual se ha realizado la comparación de dos tipos de aspersores SAM-UK-05 y SAM-UK-04, los cuales se ven influenciados por el viento como se muestra en la Tabla 17.

Clavitea (2021), realizó la evaluación de los aspersores encontrado uniformidad de más del 80%, considerando la afectación del viento similar a nuestra investigación que se ha evaluado con una velocidad del viento a 4.50 m/s el cual ha tenido efectos en nuestra

investigación como se demuestra en los siguientes resultados. Torres et al. (2020), encontró una uniformidad de pluviometría en los aspersores con unos valores oscilaron de 79,6% a 82,2 %, con media de 81,2%. Sin embargo, para nuestra investigación se han encontrado valores inferiores al 60%.

Tabla 17

Análisis de la varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	126063,45	1	126063,45	10,480	0,0013
Aspersor I	126063,45	1	126063,45	10,480	0,0013
Error	7600472,87	632	12026,06		
Total	7726536,32	633			

Según la tabla anterior se tiene que el valor de p-valor es $0,0013 < 0,05$ por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna; es decir que hay diferencia entre la uniformidad, afectado por el factor viento.

Para abordar este problema y mejorar la uniformidad en la distribución del riego, es necesario tomar medidas específicas, como ajustar la presión en los hidrantes o seleccionar aspersores que se ajusten a la presión disponible como se evidencia, para lo cual se ha realizado la prueba de normalidad como se muestra en la Tabla 18, de la recolección de volumen de agua recolectada por cada aspersor.

Tabla 18

Prueba de normalidad - Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Cantidad	634,000	0,000	109,580	0,820	<0,0001



Según la tabla anterior se tiene que el valor de p-valor es $< 0,0001 < 0,05$ por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna; es decir que las muestras no presentan una normalidad hay diferencia en la toma de muestras y esto confirma que no existe la uniformidad deseada, consideramos que es afectado por el factor viento.

Además, es necesario llevar a cabo un monitoreo regular para asegurarse de que todos los aspersores funcionen de manera óptima y que el agua se distribuya de manera uniforme en todas las áreas de cultivo. Para lo cual se ha realizado la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – distribución normal como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – distribución normal

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico D	p-valor
RDUO Cantidad	Normal(0,1)	0,000	12007,070	634,000	0,64	<0,0001

Según la tabla anterior la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov se utiliza para determinar si una muestra sigue una distribución específica (en este caso, la distribución normal). El valor de p-valor: en este caso, el p-valor obtenido es menor que el nivel de significancia seleccionado ($0,0001 < 0,05$). Esto indica que la diferencia entre la distribución de la muestra y la distribución normal es estadísticamente significativa. Donde la decisión sobre la hipótesis nula y alternativa: hipótesis nula (H0): la muestra sigue una distribución normal y la hipótesis alternativa (H1): la muestra no sigue una distribución normal.

Como resultado de la prueba: dado que el p-valor es menor que el nivel de significancia ($0,0001 < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula (H0). Por lo tanto, se acepta la

hipótesis alternativa (H1), lo que indica que las muestras no siguen una distribución normal.

Como interpretación indica que los datos no siguen una distribución normal según los resultados obtenidos en la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esto es importante tener en cuenta al realizar análisis posteriores que asumen normalidad en los datos obtenidos.

Para corroborar dicha prueba (Tabla 19) se ha realizado la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – t estudent como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov) – t estudent

Variable	Ajuste	v	n	Estadístico D	p-valor
RDUO Cantidad	T Student(3)	1,000	634,000	0,630	<0,0001

Según la tabla anterior se ha realizado la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para una distribución t de Student, en donde se utiliza para determinar si una muestra sigue una distribución t de Student específica. El valor de p-valor: en este caso, el p-valor obtenido es menor que el nivel de significancia seleccionado ($0,0001 < 0,05$). Esto indica que la diferencia entre la distribución de la muestra y la distribución t de Student es estadísticamente significativa. La decisión sobre la hipótesis nula y alternativa: hipótesis nula (H0): la muestra sigue una distribución t de Student y la hipótesis alternativa (H1): la muestra no sigue una distribución t de Student.

Como resultado de la prueba se tiene que el p-valor es menor que el nivel de significancia ($0,0001 < 0,05$), se rechaza la hipótesis nula (H0). Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (H1), lo que indica que las muestras no siguen una distribución t de Student. Este resultado nos indica que los datos no siguen una distribución t de Student



según los resultados obtenidos en la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esto es importante tener en cuenta al realizar análisis posteriores que asumen una distribución t. Si es necesario, se pueden considerar otras pruebas o técnicas de análisis que sean apropiadas para los datos en cuestión.

Al mejorar la uniformidad en la aplicación del riego, se logrará un uso más eficiente del agua y se maximizará el beneficio para los cultivos, lo que a su vez contribuirá a una gestión más sostenible de los recursos hídricos en la zona de estudio. Para lo cual se ha realizado la prueba de homogeneidad dada por las Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23.

Como primera prueba se tiene la prueba de Tukey Alfa=0,05 DMS=11,61871 con un error: 5128,2447; grados de libertad: 632.

Tabla 21

Prueba homogeneidad de Tukey

Aspersor I	Medias	n	E.E.	
SAM-UK-04	66,3	229	4,73	A
SAM-UK-05	90,99	405	3,56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Se ha realizado la prueba de Duncan Alfa=0,05 con un error: 5128,2447; grados de libertad: 632.

Tabla 22

Prueba homogeneidad de Duncan

Aspersor I	Medias	n	E.E.	
SAM-UK-04	66,3	229	4,73	A
SAM-UK-05	90,99	405	3,56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Se ha realizado la prueba de LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,62691 con un error: 5128,2447 grados de libertad: 632.

Tabla 23

Prueba homogeneidad de LSD Fisher

Aspersor I	Medias	n	E.E.	
SAM-UK-04	66,3	229	4,73	A
SAM-UK-05	90,99	405	3,56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados presentados en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23, se puede decir que existe la diferencia o no se agrupan en el mismo grupo según los tipos de aspersores SAM-UK-05 y SAM-UK-04, en donde se puede decir que el aspersor SAM-UK-04 posee mejor media en sus uniformidad que el aspersor SAM-UK-05, consideramos que es por la distancia, cuan mayor sea el diámetro de acción del aspersor mejor uniformidad presenta en comparación cuan menor sea el diámetro presenta mejor uniformidad en su distribución de agua y/o pluviometría.

Los aspersores se han evaluado bajo las siguientes condiciones iniciales para el desenvolvimiento de los aspersores según la Tabla 24.

Tabla 24

Comparación de los datos técnicos de diseño

Descripción	Unidad	Diseño anterior	Diseño actual	Diferencia
Hectarea	has	20,00	20,00	100,00%
Cultivos	cultivos	4,00	4,00	100,00%
Presión calculada	mca	30,00	30,00	100,00%
Presión de trabajo	mca	30,00	40,00	133,33%
Aspersores	SAM-UK	15,00	10,50	70,00%
Traslape	m	0,75	0,10	13,33%



Las presiones evaluadas son las mismas según el plano que se presenta en el anexo para las presiones que se presentan en la tabla 14.

Tabla 15 y Tabla 16. Donde se puede decir que si cumple con las presiones establecidas.

Clavitea (2021), realizó su investigación con un mini cañón como aspersor el cual difiere de nuestra investigación, para nuestro caso se ha usado los aspersores SAM-UK-05 y SAM-UK-04. Consideramos para evaluar los sistemas las presiones de trabajo se encuentran entre 3 y 4 bares similares a nuestro estudio. Vilca (2021), utilizó aspersores de la marca VYR, con similares características a nuestra investigación.

La evaluación de los aspersores en función de su diseño es un aspecto crítico en la eficiencia de un sistema de riego. En este estudio, se han considerado dos tipos de aspersores que, lamentablemente, muestran un rendimiento inferior al esperado. Los resultados indican una eficiencia del 50% para el primer aspersor y del 30% para el segundo, ambos operando a una presión de trabajo de 4 bares, lo que equivale a 40.80 metros de columna de agua.

Estos valores de eficiencia se sitúan por debajo de lo óptimo y están en desacuerdo con las mejores prácticas recomendadas por investigadores como Jaimes and Alvarez (2020) y Ayala (2019), quienes enfatizan la importancia de utilizar aspersores de acuerdo con el diseño del proyecto para maximizar la eficiencia del sistema de riego.

Un aspecto preocupante es el coeficiente de uniformidad, que se ha medido en un 33.33% y 57.14% para los aspersores evaluados. Estos resultados están por debajo del 100%, que es el estándar deseado para una distribución uniforme del riego. Investigaciones anteriores, como las destacadas por Vilca (2021) y Sirlopu and Vuves



(2018), subrayan la relevancia del coeficiente de uniformidad para garantizar un uso eficiente del recurso hídrico. Además, autores como Eslamian and Eslamian (2023b); Gupta et al. (2023); He (2023) han enfatizado la importancia de este indicador en la gestión sostenible del agua en sistemas de riego.

Estos hallazgos indican la necesidad de tomar medidas para mejorar la eficiencia de los aspersores y lograr una distribución más uniforme del riego. Esto no solo garantizará un uso más eficiente del agua, sino que también contribuirá al éxito general del sistema de riego y a la sostenibilidad de la agricultura en la zona de estudio.

Análisis de los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego

Resultados del análisis de costos de operación y mantenimiento del sistema de riego se ha considerado lo siguiente: flujo de costos de operación y mantenimiento; operación y mantenimiento del sistema; insumos y materiales de origen nacional; remuneraciones; tarifa de agua; gastos por imprevistos; gastos administrativos; flujo de costos de producción; costo de producción; gastos por imprevistos; gastos administrativos y el total flujo de costos con aspersión como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25

Flujo de costos e ingresos del proyecto

Horizonte del proyecto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de costos de operación y mantenimiento	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67	1.236,67
Operación y mantenimiento del sistema	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40	1.094,40
Insumos y materiales de origen nacional	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Remuneraciones	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
Tarifa de agua	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40	144,40
Gastos por imprevistos	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72	54,72
Gastos administrativos	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55	87,55
Flujo de costos de producción	7.800,55	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12	6.411,12
costo de producción	6.903,14	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56	5.673,56
Gastos por imprevistos	345,16	283,68	283,68	283,68	283,68	283,68	283,68	283,68	283,68	283,68
Gastos administrativos	552,25	453,88	453,88	453,88	453,88	453,88	453,88	453,88	453,88	453,88
Total flujo de costos con aspersión	7.800,55	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79
Flujo de ingresos del proyecto		6.283,05	11.034,59							
Flujo de ingresos con riego por aspersión		6.283,05	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59

Para este análisis se ha considerado un total de 10 años, el flujo de ingresos con riego por aspersión que asciende a un total de S/. 94.559,76 soles y finalmente el flujo de costos totales con riego por aspersión a un total de S/. 76.630,65 soles.

Tabla 26

Resultados de la evaluación económica del proyecto con riego por aspersión

Flujo de Fondos Netos a precios privados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de ingresos con riego por aspersión		6.283,05	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59	11.034,59
Flujo de costos totales con riego por aspersión	7.800,55	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79	7.647,79
FFN	(7.800,55)	(1.364,74)	3.386,80							

La interpretación de los resultados de la evaluación económica del proyecto con riego por aspersión arroja datos clave que proporcionan una visión integral de su viabilidad financiera tasa descuento: 12%; valor actual neto (VAN): 6.003; tasa interna de retorno (TIR): 25% y coeficiente beneficio costo (B/C): 1,23. A continuación, se analizan estos resultados:



Tasa de descuento del 12%: La tasa de descuento se utiliza para calcular el valor actual de los flujos de efectivo futuros del proyecto. En este caso, se ha utilizado una tasa del 12%. Esto significa que se ha considerado un costo de oportunidad del 12% anual para el dinero invertido en el proyecto. Si el proyecto genera un rendimiento superior al 12%, será considerado rentable desde el punto de vista financiero.

Valor actual neto (VAN) de 6.003: El VAN representa la diferencia entre los flujos de efectivo presentes generados por el proyecto y la inversión inicial. En este caso, un VAN positivo de 6.003 indica que el proyecto generará un valor presente neto de 6.003 unidades monetarias, lo que sugiere que el proyecto es financieramente atractivo. Cuanto mayor sea el VAN, mayor será la rentabilidad del proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR) del 25%: La TIR es la tasa de rendimiento que hace que el VAN sea igual a cero, es decir, la tasa a la cual los flujos de efectivo futuros del proyecto igualan la inversión inicial. En este caso, una TIR del 25% es significativamente superior a la tasa de descuento del 12%, lo que indica que el proyecto supera con creces su costo de financiamiento. Esto sugiere una alta rentabilidad y una inversión atractiva.

Coefficiente beneficio-costos (B/C) de 1,23: El B/C es una relación que compara los beneficios netos del proyecto con los costos. Un B/C de 1,23 indica que por cada unidad monetaria invertida en el proyecto, se obtendrán beneficios netos por un valor de 1,23 unidades monetarias. Un valor superior a 1 sugiere que el proyecto generará beneficios netos positivos, lo que es una señal de viabilidad financiera.

Los resultados de la evaluación económica son alentadores. El VAN positivo, la TIR superior al costo de financiamiento y el B/C mayor que 1 indican que el proyecto de riego por aspersión es financieramente sólido y rentable. Estos resultados sugieren que la

inversión en el proyecto tiene el potencial de generar retornos económicos positivos y mejorar la eficiencia en la gestión del agua mediante la tecnología de riego por aspersión.

Tabla 27

Diferencia de costos en operación y mantenimiento

Descripción	Costos anteriores	Costos actuales	Diferencia
Tasa descuento	14%	14%	100,00%
Valor actual neto (VAN)	3.913	2.209	56,44%
Tasa interna de retorno (TIR)	24%	19%	79,71%
Coficiente beneficio costo (B/C)	1,23	1,18	95,65%

Según la tabla anterior se puede decir que existe una reducción de costos en el valor actual neto y la tasa interna de retorno, del 56,44 % y 79,71 %. El cual va beneficiar a la comunidad con esa reducción de costos. Sin embargo, han sido calculados con la misma tasa de descuento.

El análisis económico de este proyecto ha abarcado un período de 10 años, siguiendo el enfoque de ingresos asociados al riego por aspersión, un enfoque respaldado por investigadores previos como Choque (2018), Jara and Ramos (2018) y Dávalos (2019). Los costos totales de operación y mantenimiento durante este período se estiman en un total de S/. 94,559.76 soles. De manera complementaria, los costos totales del proyecto relacionados con el riego por aspersión ascienden a S/. 76,630.65 soles.

La interpretación de los resultados de la evaluación económica del proyecto con riego por aspersión arroja datos clave que ofrecen una perspectiva integral de su viabilidad financiera. Con una tasa de descuento del 12%, el Valor Actual Neto (VAN) calculado es de S/. 6,003 soles, lo que sugiere que el proyecto podría generar un retorno financiero positivo a lo largo de su vida útil. La Tasa Interna de Retorno (TIR) se estima



en un 25%, lo que indica que la inversión tiene el potencial de generar un rendimiento significativo. Además, el Coeficiente Beneficio-Costo (B/C) se sitúa en 1.23, lo que sugiere que el proyecto tiene la capacidad de generar un valor adicional en comparación con sus costos, como han demostrado estudios similares realizados por autores como Franco (2018), González and Lanuza (2018) y Senmache (2018).

Estos resultados respaldan la viabilidad financiera del proyecto de riego por aspersión, lo que sugiere que es una inversión que podría generar beneficios significativos a lo largo del tiempo. Estos hallazgos son coherentes con investigaciones previas en el campo y subrayan la importancia de considerar el enfoque económico al evaluar proyectos de este tipo.

Determinación del nivel de organización en el sistema de riego implementado

Los resultados de la evaluación del nivel de organización en el sistema de riego implementado han revelado una situación que merece atención. Hasta el momento, no se ha constituido una organización claramente definida que asuma el liderazgo en la gestión del sistema de riego. A pesar de que el proyecto se ejecutó el año pasado, a la fecha no se ha designado un presidente de riego ni se ha establecido un mecanismo de financiamiento para el mantenimiento y operación del sistema.

Esta falta de organización se refleja en la Figura 17, que muestra el nivel de organización actual por parte de la comunidad de Jipata. Es evidente que existe una brecha en la estructura organizativa que debe ser abordada para garantizar la sostenibilidad y eficacia a largo plazo del sistema de riego.

Figura 16

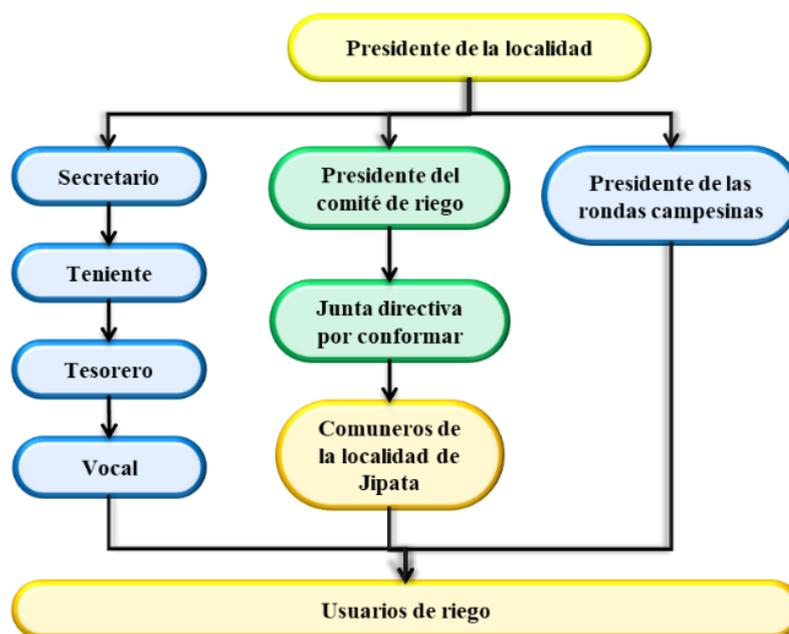
Fortalecimiento de capacidades en organización



La ausencia de un líder o presidente de riego y la falta de financiamiento adecuado plantean desafíos significativos en la operación y mantenimiento continuo del sistema. Para que el proyecto tenga éxito en su objetivo de mejorar el acceso al agua para la agricultura y contribuir al desarrollo de la comunidad, es esencial establecer una organización eficaz que pueda coordinar las actividades, recaudar fondos y tomar decisiones informadas sobre la gestión del riego.

Figura 17

Diagrama de organización de la localidad de Jipata



En la actualidad, la participación de los actores involucrados en el manejo y gestión del sistema de riego, así como en la administración del recurso hídrico, se encuentra en una etapa incipiente en la zona. Es evidente que la presencia del Estado en temas relacionados con el riego y la gestión de los recursos hídricos es limitada o prácticamente nula.

Figura 18

Fortalecimiento de capacidades en operación y mantenimiento de sistemas de riego



Por otro lado, la organización encargada del sistema de riego aún está en una fase incipiente en lo que respecta a su capacidad para operar y mantener eficazmente el sistema de riego por aspersión. Se identifica una necesidad clara de fortalecimiento de capacidades en esta área, ya que la falta de experiencia y conocimientos técnicos puede dificultar la operación y el mantenimiento adecuados del sistema.

En este contexto, es esencial que se implementen iniciativas de fortalecimiento de capacidades que brinden a los actores locales el conocimiento y las habilidades necesarias para gestionar de manera eficiente el sistema de riego y administrar de manera sostenible el recurso hídrico disponible. Esto puede incluir programas de capacitación, asesoramiento técnico y apoyo en la creación de una estructura organizativa más robusta para garantizar la operación continua y el mantenimiento del sistema de riego por aspersión.

Figura 19

Fortalecimiento de capacidades en manejo y gestión de proyectos de riego



La colaboración entre las autoridades locales, las organizaciones de usuarios de agua y otras partes interesadas es fundamental para abordar estos desafíos y promover una gestión más efectiva de los recursos hídricos en la zona, lo que a su vez beneficiará a la comunidad agrícola local y contribuirá al desarrollo sostenible de la región.

Los estudios realizados por autores como Hospital and González (2021), Ruiz (2021), y Jaimes and Alvarez (2020), resaltan la importancia crítica de establecer una organización o comité de riego dedicado al manejo, operación y mantenimiento eficiente de los sistemas de riego. Estos investigadores enfatizan que la gestión de recursos hídricos va más allá de la operación y el mantenimiento; implica una adaptación continua a las tendencias emergentes en la administración de los recursos hídricos, tal como lo indican Vargas and Torres (2019), Arias and Martínez (2019), Hernández et al. (2018).

Estos expertos también subrayan la importancia de aspirar a la gobernanza de los recursos hídricos como un objetivo deseable, como mencionan González and Lanuza (2018). En el contexto actual, el sistema carece de representantes del comité de riego y no cuenta con una dirección técnica adecuada. Esto destaca la necesidad crítica de fortalecer las capacidades de gestión y operación de este sistema recién implementado.



Los hallazgos de estos estudios refuerzan la importancia de establecer una estructura organizativa sólida para garantizar el funcionamiento efectivo y sostenible de los sistemas de riego, así como la necesidad de adaptarse a las cambiantes dinámicas de la gestión de recursos hídricos y avanzar hacia la gobernanza de los mismos (García, 2010; Gentes, 2008).



V. CONCLUSIONES

- En cuanto a la eficiencia de los aspersores según su diseño, es evidente que se necesita una mejora significativa. Los resultados revelan una eficiencia del 50% para el primer aspersor y del 30% para el segundo, ambos operando a una presión de trabajo de 4 bares, equivalente a 40.80 metros de columna de agua. Estas cifras están por debajo de lo óptimo y contradicen las mejores prácticas recomendadas por los expertos, quienes enfatizan la importancia de utilizar aspersores acordes al diseño del proyecto para maximizar la eficiencia del sistema de riego. Además, los coeficientes de uniformidad también son preocupantes, con mediciones de 33.33% y 57.14% para los aspersores evaluados. Estos resultados están por debajo del 100%, el estándar deseado para una distribución uniforme del riego. Los expertos resaltan la relevancia del coeficiente de uniformidad para un uso eficiente del recurso hídrico. según los aspersores evaluados SAM-UK-05 y SAM-UK-04 en donde el valor de p-valor es $0,0013 < 0,05$; es decir que hay diferencia entre la uniformidad, afectado por el factor viento. Asimismo, se enfatiza en esta investigación la importancia de este indicador en la gestión sostenible del agua en sistemas de riego. Estos hallazgos indican una necesidad urgente de tomar medidas para mejorar la eficiencia de los aspersores y lograr una distribución más uniforme del riego, lo que no solo optimizará el uso del agua, sino que también contribuirá al éxito del sistema de riego y a la sostenibilidad de la agricultura en la zona de estudio.
- El análisis económico del proyecto abarca un período de 10 años y utiliza un enfoque de ingresos relacionados con el riego por aspersión. Los costos totales de operación y mantenimiento estimados durante este período ascienden a S/. 94,559.76 soles, mientras que los costos totales relacionados con el riego por aspersión llegan a S/.



76,630.65 soles. La interpretación de estos resultados ofrece una visión completa de la viabilidad financiera del proyecto. Con una tasa de descuento del 12%, el Valor Actual Neto (VAN) calculado es de S/. 6,003 soles, lo que sugiere que el proyecto tiene el potencial de generar un retorno financiero positivo a lo largo de su vida útil. La Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada en un 25% indica que la inversión puede generar un rendimiento significativo. Además, el Coeficiente Beneficio-Costo (B/C) de 1.23 sugiere que el proyecto puede generar un valor adicional en comparación con sus costos. Los resultados respaldan la viabilidad financiera del proyecto de riego por aspersión y destacan su capacidad para generar beneficios significativos a lo largo del tiempo. Esto refuerza la importancia de considerar el enfoque económico al evaluar proyectos similares.

- Se enfatizan la importancia crítica de establecer una organización o comité de riego dedicado al manejo, operación y mantenimiento eficiente de los sistemas de riego. Además, resaltan que la gestión de recursos hídricos implica una adaptación continua a las tendencias emergentes en la administración de los recursos hídricos. En el contexto actual, el sistema carece de representantes del comité de riego y no cuenta con una dirección técnica adecuada. Esto subraya la necesidad crítica de fortalecer las capacidades de gestión y operación de este sistema recién implementado. Estos hallazgos resaltan la importancia de establecer una estructura organizativa sólida para garantizar el funcionamiento efectivo y sostenible de los sistemas de riego. También subrayan la necesidad de adaptarse a las cambiantes dinámicas de la gestión de recursos hídricos y avanzar hacia la gobernanza de los mismos.



VI. RECOMENDACIONES

- Es esencial llevar a cabo un programa de capacitación y fortalecimiento de las habilidades de operación y mantenimiento del sistema de riego en la localidad de Jipata. Esto garantizará que los agricultores y operadores estén equipados con el conocimiento y las habilidades necesarias para mantener el sistema en funcionamiento de manera eficiente y efectiva.
- Se recomienda proporcionar aspersores que se ajusten a las diferentes presiones de trabajo según los hidrantes instalados en la localidad de Jipata. Esto permitirá un uso más eficiente del agua y una distribución uniforme del riego.
- Se aconseja llevar a cabo evaluaciones periódicas del sistema de producción y riego propuesto. El objetivo es mejorar la utilización del espacio, aumentar la producción y productividad agrícola, y optimizar el uso del agua para lograr una mayor eficiencia. Estas evaluaciones deben llevarse a cabo en colaboración con expertos en agricultura y recursos hídricos.
- Es fundamental fomentar la formación de una organización de usuarios de agua o una asociación de riego en la localidad. Esta entidad podría asumir la responsabilidad de la gestión y operación del sistema de riego. Trabajar en colaboración con las autoridades locales garantizará la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo del sistema.
- Tanto las instituciones públicas como las privadas deben abordar los proyectos de manera integral, desde su concepción hasta la consecución de los objetivos establecidos. Esto incluye la realización de evaluaciones posteriores para determinar si se están logrando los objetivos previstos para un propósito específico. La revisión



continua y la adaptación son esenciales para el éxito a largo plazo de cualquier proyecto de riego.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al, H. H. (2023). *The future of solar power* [Book]. Nova Science Publishers, Inc.
<https://doi.org/10.52305/VFIO3684>
- Amaya, M., Pérez, M. M., Romero, M. A., Suárez, E., & Vaughan, N. (2020). *Manual de citas y referencias bibliográficas: Latino, APA, Chicago, IEEE, MLA, Vancouver* (4 ed.). Universidad de los Andes, Vicerrectoría Académica, Ediciones Uniandes.
- Anderson, B. (2019). *The City in Geography: Renaturing the Built Environment*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315628080>
- Arias, D. F., & Martínez, K. S. (2019). *Evaluación de la viabilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la notaría única de San Luis de Gaceno, Boyacá [Tesis de pregrado, Universidad Libre]*. Universidad Libre.
- Ashby, M. F. (2023). *Materials and sustainable development* (Vol. 3). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-00557-5>
- Ayala, A. C. (2019). *Modelos para la evaluación y optimización de instalaciones fotovoltaicas de Autoconsumo [Tesis doctoral, Universidad de Málaga]*. Universidad de Málaga.
- Bandh, S. A. (2021). *Sustainable agriculture: Technical progressions and transitions* [Book]. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83066-3>
- Burchardt, M., & Laak, D. V. (2023). *Making spaces through infrastructure: Visions, technologies, and tensions* [Book]. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111191850>
- Cano, N. D., Camargo, A. P., Ait-Mouheb, N., Muniz, G. L., Guarnizo, J. A. Y., Pereira, D. J. S., & Frizzone, J. A. (2022). Optimisation of the filter housing dimensions



- of an automatic flushing strainer-type filter. *Biosystems Engineering*, 219, 25-37 p. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.04.019>
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos EIRLTDA.
- Choque, D. (2018). *Evaluación del uso de energía solar fotovoltaica - eólica para la impulsión de un sistema de abastecimiento de agua en un centro Poblado rural - Ilave [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio Institucional UNAP.
- Choque, D. V. (2022). *Sistema fotovoltaico a una máquina de ordeó mecánico [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Coles, B. (2022). *Making markets making place: Geography, topo/graphy and the reproduction of an urban marketplace*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-72865-6>
- Conrad, J. M., & Rondeau, D. (2020). *Natural resource economics: Analysis, theory, and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108588928>
- Cruz, V. M., & Núñez, T. E. (2014). Diseño de tres sistemas fotovoltaicos para la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica. *Electrónica - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 17, 18 p.
- Dávalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]*. Universidad Nacional de Jaén
- Deambi, S. (2016). *Photovoltaic system design: Procedures, tools and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372181>



- Drew, M., & Crase, L. (2023). 'More Crop per Drop' and water use efficiency in the National Water Policy of Pakistan. *Agricultural Water Management*, 288, 108491. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108491>
- Dwivedi, S., & Dwivedi, N. (2023). *Bionanotechnology Towards Green Energy: Innovative and Sustainable Approach*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003316374>
- Eslamian, S., & Eslamian, F. (2023a). *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429290152>
- Eslamian, S., & Eslamian, F. (2023b). *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Fundamentals* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429290114>
- Franco, V. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]*. Universidad Técnica de Ambato.
- Fuentes, D. D., Toscano, A. E., Malvaceda, E., Díaz, J. L., & Díaz, L. (2020). *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables* (1 ed.). Universidad Pontificia Bolivariana. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-879-9>
- Gallardo, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación: Manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental.
- García, D. (2010). *Análisis de la gobernanza del recurso hídrico en la subcuenca del río Ulí, reserva de la Biosfera Bosawas, Nicaragua* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Turrialba, CR.
- Gentes, I. (2008). Gobernanza, gobernabilidad e institucionalidad para la gestión de cuencas; Estado de arte. *Seminario Internacional de Cogestión de cuencas*



- hidrográficas: experiencias y desafíos (14-16 octubre de 2008)*, CATIE, 27 - 36 p.
- Gómez, S. (2012). *Metodología de la investigación*. Red Tercer Milenio S.C. <http://aliatuniversidades.com.mx/rtm/index.php/producto/metodologia-de-la-investigacion/>
- Gómez, S. M. (2019). *Estudio de un sistema fotovoltaico: Caracterización, simulación y evaluación de diversos métodos de análisis y predicción [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- González, L. E., & Lanuza, A. R. (2018). *Propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción Comarca Ato Viejo San Nicolás - Estelí, durante el periodo de julio a noviembre del 2017 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]*. Universidad Autónoma de Nicaragua.
- Goyal, M. R. (2014). *Sustainable micro irrigation: principles and practices*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/b17155>
- Goyal, M. R., Panigrahi, B., & Panda, S. N. (2017). *Micro Irrigation Scheduling and Practices*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781315207384>
- Goyal, M. R., & Singh, A. (2017). *Micro Irrigation Engineering for Horticultural Crops: Policy Options, Scheduling, and Design*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781315207421>
- Gupta, A. K., Uddameri, V., Majumder, A., & Nimbhorkar, S. K. (2023). *Wastewater engineering: Issues, trends, and solutions*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003364450>



- Hahn, Y.-B., Mahmoudi, T., & Wang, Y. (2023). *Next-Generation Solar Cells: Principles and Materials*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003372387>
- He, Y. (2023). *The Agricultural Civilization of Ancient China* [Book]. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8469-3>
- Hernández, T. d. J., Araya, F., Obando, J., Rivero, M., & Castro, G. (2018). valuación de sistemas térmicos y fotovoltaicos solares en unidades de producción agropecuaria, Región Huetar Norte, Costa Rica. *Universidad de Costa Rica*, 28(3), 535 - 548.
- Hospital, K. M., & González, L. D. (2021). *Diseño de un sistema sistema de bombeo alimentado por energía solar fotovoltaica en la zona de Cundinamarca [Tesis de Pregrado, Universidad Piloto de Colombia]*. Universidad Piloto de Colombia.
- INEI. (2023). *Portal del INEI: Población y vivienda*. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Retrieved 30 de enero from <https://www.inei.gob.pe/>
- Jaimes, S. A., & Alvarez, J. S. (2020). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico, para Distrito de Riego en Llano Grande, Girón [Tesis de pregrado, Universidad Autonoma de Bucaramanga]*. Universidad Autonoma de Bucaramanga.
- Jara, J., & Ramos, J. S. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio Institucional UNAP.
- Karim, S. A. A., & Puspitasari, P. (2023). *Advanced Materials towards Energy Sustainability: Theory and Implementations* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003367819>
- Kerr, J. A. (2017). *Introduction to energy and climate: Developing a sustainable environment* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315151885>



- Khan, M. A., Gupta, B., Verma, A. R., Praveen, P., & Peoples, C. J. (Eds.). (2023). *Smart Village Infrastructure and Sustainable Rural Communities*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6418-2>.
- King, M. D. (2021). *Water and conflict in the middle east* [Book]. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197552636.001.0001>
- Klemeš, J. J. (2022). *Handbook of process integration (PI): minimisation of energy and water use, waste and emissions*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01220-X>
- Krishna, K. R. (2023). *The agricultural sky: A concept to revolutionize farming* [Book]. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003328247>
- Kumar, A., & Prajapati, S. (2023). *Solar powered wastewater recycling* [Book]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003407690>
- Kumar, A., Singh, V. P., Meena, C. S., & Dutt, N. (2023). *Thermal Energy Systems: Design, Computational Techniques, and Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003395768>
- Li, M., Cao, X., Liu, D., Fu, Q., Li, T., & Shang, R. (2022). Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach. *Agricultural Water Management*, 259, 107235. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107235>
- Manganaris, G. A., Costa, G., & Crisosto, C. H. (2023). *Peach* [Book]. CABI International. <https://doi.org/10.1079/9781789248456.0000>
- Noennig, J. R., Barski, J., Borgmann, K., & Baeza, J. L. (2023). 15 - Digital City Science—a platform methodology for sustainable urban development. In P. Droege (Ed.), *Intelligent Environments (Second Edition)* (pp. 475 - 497 p.). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820247-0.00013-8>



- Oseda, D., Huamán, E., Ramos, E., Shimbucat, F., Zevallos, K., & Barrera, M. (2015). *Teoría y Práctica de la Investigación Científica* (Vol. 1). Soluciones Gráficas SAC.
- Patankar, K. A., Kalantar, T., Cook, S., Nicoli, E., Tuft, B., & Crimmins, M. (2023). Chapter 22 - Application of high-throughput methodologies and artificial intelligence for adhesion testing. In D. A. Dillard (Ed.), *Advances in Structural Adhesive Bonding (Second Edition)* (pp. 751 - 775). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91214-3.00020-X>
- Pennington, K. L., & Cech, T. V. (2021). *Introduction to Water Resources and Environmental Issues* (2 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108784221>
- Peralta, A. A. (2018). *Evaluación técnico-económica de una instalación de bombeo solar fotovoltaico aplicada a la ampliación de la frontera agrícola en zonas aisladas de Arequipa [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Ravikumar, V. (2022). *Sprinkler and Drip Irrigation: Theory and Practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-2775-1>
- Reichardt, K., & Timm, L. C. (2019). *Soil, Plant and Atmosphere: Concepts, Processes and Applications*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19322-5>
- Revueltas, J. E., Zabaleta, A., Mercado, T., & Aguirre, S. (2020). Cambios en el clima local y su efecto en la regulación hídrica en microcuencas del departamento del Magdalena, Norte de Colombia. *Información tecnológica*, 31(6), 193 - 206 p. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600193>



- Rizzo, D., Marraccini, E., & Lardon, S. (2022). *Landscape Agronomy: Advances and Challenges of a Territorial Approach to Agricultural Issues*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05263-7>
- Rousseau, R., Egghe, L., & Guns, R. (2018). Chapter 2 - Scientific Research and Communication. In R. Rousseau, L. Egghe, & R. Guns (Eds.), *Becoming Metric-Wise* (pp. 11-35). Chandos Publishing.
- Ruiz, D. M. (2021). *Modelación energética de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para zonas rurales [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa]*. Universidad De La Costa.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas* (Vol. 3). Biblioteca Lascasas. <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Sengar, B., & McMillin, L. H. (2019). *Spaces and Places in Western India: Formations and Delineations*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780429343698>
- Senmache, M. D. (2018). *Implementación de un sistema de riego por goteo alimentado por energía solar fotovoltaica para el cultivo de plantas de palta, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Sirlopu, E., & Vuves, J. C. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para el cultivo de espárrago en el fundo Bobadila - Ferreñape [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]*. Universidad Cesar Vallejo.
- Sommers, L. M. (2019). *Michigan: A geography*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429048432>
- Tirado, A. (2021). *Evaluación de un sistema fotovoltaico de bombeo para riego por aspersión de áreas verdes urbanas en la localidad de Carabayllo [Tesis de*



- pregrado, Universidad Agraria La Molina*]. Repositorio Universidad Agraria La Molina.
- Torres, J., Condori, J., Condori, R., Limachi, W. R., Pari, E. R., & Beltran, N. J. (2020). Análisis y evaluación de un sistema fotovoltaico de 3.0 KW, conectados a la red del Pabellón Administrativo de la Universidad Nacional de Juliaca. *ÑAWPARISUN*, 2(4), 8.
- Valderrama, S. R. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. San Marcos.
- Vargas, J., & Torres, J. (2019). Evaluación técnico ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*, 14(1), 20.
- Vilca, J. R. (2021). *Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la Cuenca Llallimayo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio Insititucional UNA.
- Volpi, G., Jannuzzi, G., Dourado, R., & Gomes, M. (2006). A sustainable electricity blueprint for Brazil. *Energy for Sustainable Development*, 10(4), 14 - 24 p.
- Wakjira, C. (2023). Adapting climate resilient center pivot irrigation system through monitoring and operating under microclimate change: The case of Wonji-Shoa Sugar Estate, Ethiopia. *Climate Services*, 30, 100389. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100389>
- Water Resources Council, & Hydrology Committee. (1981). *Estimating peak flow frequencies for natural ungaged watersheds: a proposed nationwide test*. United States Water Resources Council and Hydrology Committee.



Willaarts, B. A., Garrido, A., & Llamas, M. R. (2014). *Water for food security and well-being in Latin America and the Caribbean: Social and environmental implications for a globalized economy* [Book]. Taylor and Francis.
<https://doi.org/10.4324/9781315883137>



ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 20. Vista del equipo de impulsión



Figura 21. Vista de la fuente de captación de agua - manantes



Figura 22. Vista de la visita técnica realizada



Figura 23. Vista del reservorio, parte del sistema de riego



Figura 24. Vista de los materiales usados en la prueba de infiltración



Figura 25. Vista de la prueba de infiltración



Figura 26. Vista de la prueba de uniformidad



Figura 27. Vista de la medición de las presiones en los diferentes puntos



Figura 28. Vista de la medición del volumen de agua del aspersor



Figura 29. Vista del fortalecimiento de capacidades en operación y mantenimiento



Figura 30. Vista del fortalecimiento de capacidades en la organización de usuarios



Figura 31. Vista de los materiales para la prueba de aspersores



Figura 32. Vista del fortalecimiento de capacidades en organizaciones de riego



Figura 33. Vista de la prueba de aspersores y los colectores de pluviometría



Figura 34. Vista de la prueba de aspersores y la conexión al hidrante

Anexo 2. Precipitación mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1981	64,80	95,50	52,70	27,50	12,20	0,00	0,00	0,00	13,00	58,60	66,90	98,60
1982	68,00	172,10	191,70	66,40	45,10	0,00	0,00	0,00	44,90	30,30	5,70	177,10
1983	134,30	212,00	193,80	27,00	0,00	30,70	10,00	20,00	30,90	3,50	85,50	41,10
1984	172,10	164,00	87,40	31,80	8,30	7,00	1,80	9,10	22,40	23,10	17,30	98,40
1985	148,50	196,70	166,30	44,50	3,80	0,20	3,50	0,00	30,70	34,00	24,40	177,50
1986	166,80	345,90	71,00	74,90	0,00	23,00	0,00	11,50	0,00	29,50	98,90	134,90
1987	288,90	221,00	169,20	17,80	12,90	2,70	3,80	1,60	26,90	13,40	50,00	148,50
1988	271,40	189,90	145,40	109,20	3,00	0,00	8,10	17,10	44,60	45,40	30,90	68,60
1989	269,00	357,00	60,00	193,00	55,00	4,20	0,20	101,00	22,00	32,00	29,00	38,00
1990	184,00	266,00	156,00	16,00	44,00	9,70	0,00	12,00	36,00	95,00	35,00	280,00
1991	331,00	201,00	136,00	21,00	44,00	1,00	2,40	43,00	63,40	9,50	5,90	51,00
1992	91,00	275,00	222,00	5,40	0,00	0,00	14,50	1,00	57,60	66,40	62,80	114,90
1993	250,00	99,00	117,00	19,00	0,00	0,00	4,00	8,00	22,00	0,90	88,20	147,00
1994	197,00	117,00	229,00	80,00	2,20	0,00	14,10	2,20	4,10	47,10	115,50	133,10
1995	190,00	91,40	253,00	3,40	2,40	1,40	11,00	33,00	101,00	40,20	106,40	25,00
1996	126,00	112,00	106,00	55,00	18,00	7,80	1,30	4,20	18,80	29,00	40,00	113,00
1997	166,00	239,00	137,00	60,00	18,00	8,40	0,50	9,90	26,00	23,00	36,00	120,00
1998	202,00	245,00	128,00	55,00	10,00	9,20	2,00	15,00	24,00	25,00	49,00	107,00
1999	219,00	242,00	119,00	61,00	15,00	1,90	3,10	19,20	26,40	34,80	39,70	129,60
2000	128,00	304,00	162,00	110,00	34,00	26,00	0,00	22,00	89,00	13,00	164,00	163,00
2001	131,00	260,00	171,00	107,00	4,30	0,00	3,60	37,00	15,00	29,00	23,00	139,00
2002	296,00	70,00	82,00	37,00	5,50	8,70	19,20	1,30	18,60	64,20	155,00	43,00
2003	300,00	70,00	249,00	124,00	9,00	0,20	1,00	0,00	22,00	58,00	27,00	96,00
2004	160,00	176,00	195,00	11,30	16,00	3,80	6,30	17,30	18,10	3,70	45,00	58,40
2005	192,00	50,00	51,00	47,00	13,00	48,00	0,00	18,00	19,00	69,00	64,00	173,00
2006	147,00	101,00	152,00	70,00	10,00	31,00	3,80	0,60	11,80	49,80	30,90	74,00
2007	159,00	130,00	40,00	32,00	0,00	0,70	3,70	40,90	0,00	24,00	72,60	60,70
2008	219,00	88,00	185,00	30,00	7,60	2,90	0,00	35,10	21,00	73,00	122,00	69,00
2009	186,00	149,00	109,00	55,00	11,00	1,00	1,60	0,80	7,10	14,30	69,00	165,00
2010	128,00	105,00	134,00	19,00	6,10	0,00	0,60	7,20	17,80	26,00	71,00	117,00
2011	195,00	127,00	137,00	32,00	18,00	0,00	9,10	38,00	4,50	26,60	77,20	101,60
2012	264,00	220,00	162,00	61,00	11,00	0,00	0,00	64,00	79,00	36,00	79,00	86,50
2013	132,00	77,00	150,00	62,00	0,00	13,60	0,00	0,00	12,30	75,00	66,00	51,00
2014	158,00	278,00	309,00	61,00	28,00	2,20	3,10	1,90	58,00	130,00	18,50	94,00
2015	275,00	236,00	138,00	16,00	10,00	14,00	0,60	17,00	1,20	62,00	1,90	119,00
2016	324,00	251,00	239,00	57,00	7,90	1,90	12,00	30,90	18,80	67,00	13,80	116,00
2017	145,00	216,00	239,00	134,00	8,60	16,50	42,40	10,90	3,70	39,40	37,40	107,00
2018	229,00	142,00	304,00	39,00	23,00	0,00	5,90	12,60	42,00	24,00	25,00	89,00
2019	322,00	115,00	68,00	54,00	11,00	2,00	34,00	49,00	25,00	11,10	25,70	85,00
2020	139,00	189,00	78,00	29,00	1,50	0,00	0,00	1,00	24,00	61,00	54,00	98,00
2021	320,00	210,00	120,00	32,00	5,00	3,00	2,00	6,00	5,40	15,00	13,50	78,00



Anexo 3. Velocidad del viento

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2001	3,10	3,00	3,20	2,40	3,00	3,10	3,40	2,80	2,60	3,20	3,10	2,40
2002	1,80	1,80	2,30	2,30	2,60	2,60	2,80	3,00	2,80	3,20	3,20	3,00
2003	2,40	2,90	2,90	2,90	2,80	2,70	2,80	2,60	2,90	2,80	2,60	2,80
2004	2,90	3,00	2,70	2,60	3,10	2,30	2,30	2,00	2,60	2,30	2,70	2,90
2005	2,10	2,30	2,30	2,30	2,10	2,20	2,40	2,80	2,60	2,80	3,00	3,00
2006	2,40	2,90	2,70	2,30	2,30	2,30	2,60	2,60	3,70	3,00	3,20	2,60
2007	3,00	2,80	2,60	2,30	2,40	2,40	2,50	2,70	2,90	2,70	2,80	3,20
2008	3,00	2,70	2,00	2,80	2,50	2,70	2,80	2,80	2,70	3,10	2,00	2,90
2009	2,40	2,20	2,30	2,00	2,50	2,30	2,40	2,50	2,60	2,40	3,00	2,30
2010	2,40	2,10	2,10	2,10	2,30	2,50	2,40	2,20	2,80	2,80	2,80	2,40
2011	2,40	2,40	2,30	2,20	2,40	2,30	2,20	2,00	2,40	2,30	2,60	2,60
2012	2,30	2,20	2,10	2,10	2,50	2,10	2,00	2,50	2,70	2,40	2,60	2,30
2013	1,90	1,90	2,10	1,80	2,20	2,00	2,10	2,20	2,20	2,40	2,30	2,30
2014	2,30	1,90	2,20	1,70	2,00	2,00	2,10	2,10	2,80	2,50	2,50	2,70
2015	2,60	2,30	2,10	2,30	2,20	2,20	2,30	2,50	2,80	2,80	2,80	2,80
2016	2,30	2,30	1,90	2,20	2,40	2,30	2,80	2,80	3,00	2,90	3,60	3,40
2017	2,20	2,40	2,10	2,50	2,40	2,60	2,40	2,10	2,60	2,80	3,20	2,90
2018	2,70	2,40	2,30	2,30	2,20	2,70	3,00	2,90	3,10	3,30	3,20	2,70
2019	2,40	2,50	1,90	2,50	2,50	2,30	3,20	3,10	2,80	2,60	3,10	2,80
2020	1,90	2,30	1,90	2,30	2,40	2,20	2,70	2,50	2,70	3,10	2,60	2,80
2021	2,00	2,00	1,90	2,20	2,20	2,20	2,20	2,40	3,30	3,00	2,70	2,70

Anexo 4. Humedad relativa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2007	69,00	65,00	72,00	68,00	49,00	50,00	53,00	54,00	52,00	55,00	43,00	42,00
2008	59,00	57,00	66,00	53,00	50,00	47,00	41,00	47,00	35,00	47,00	46,00	54,00
2009	75,00	65,00	74,00	66,00	51,00	43,00	44,00	46,00	48,00	60,00	62,00	68,00
2010	72,00	78,00	72,00	62,00	72,00	59,00	49,00	60,00	65,00	63,00	67,00	62,00
2011	65,00	63,00	71,00	57,00	47,00	44,00	54,00	45,00	56,00	51,00	54,00	58,00
2012	85,00	74,00	70,00	64,00	53,00	51,00	59,00	63,00	64,00	62,00	70,00	71,00
2013	78,00	77,00	77,00	77,00	69,00	56,00	57,00	64,00	63,00	56,00	62,00	66,00
2014	75,00	68,00	62,00	69,00	42,00	53,00	48,00	52,00	48,00	53,00	58,00	62,00
2015	71,00	78,00	79,00	74,00	62,00	34,00	40,00	42,00	44,00	57,00	44,00	54,00
2016	71,00	75,00	70,00	60,00	45,00	45,00	35,00	52,00	66,00	80,00	71,00	79,00
2017	90,00	88,00	75,00	68,00	62,00	57,00	57,00	68,00	58,00	63,00	67,00	68,00
2018	71,00	82,00	82,00	74,00	64,00	73,00	73,00	72,00	72,00	80,00	74,00	70,00
2019	79,00	81,00	82,00	75,00	70,00	62,00	66,00	58,00	63,00	60,00	75,00	70,00
2020	86,00	83,00	83,00	81,00	66,00	60,00	71,00	74,00	73,00	68,00	76,00	71,00
2021	72,00	82,00	77,00	59,00	53,00	48,00	53,00	48,00	56,00	68,00	77,00	89,00



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Zenaida Guadalupe Jamachi flores
identificado con DNI 72260237 en mi condición de egresado de:

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

Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola

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

“Evaluación de Aspersores en el sistema de
Riego tecnificado de la localidad de Jipatá 2023”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 10 de Noviembre del 2023

Zenaida

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, yo Zenaida Guadalupe Jamadri Flores identificado con DNI 72260237 en mi condición de egresado de:

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

Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Evaluación de Aspersores en el sistema de Riego
tecnificado de la localidad de Jipata 2023 ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de Noviembre del 2023

Zenaida
FIRMA (obligatoria)



Huella