



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**EVALUACIÓN CON DOS SENSORES DE HUMEDAD EL
CONSUMO DE AGUA EN PITAHAYA EN LA FINCA
VOLUNTAD DE DIOS, PROGRESO, GUAYAS**

AUTOR

CHÁVEZ IÑIGUEZ EMILY ELIZET

TUTOR

ING. VÉLIZ PIGUAVE FREDDY FERNANDO, MSc.

**GUAYAQUIL - ECUADOR
2024**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ING. FREDDY VELIZ PIGUAVE, MSc**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EVALUACIÓN CON DOS SENSORES DE HUMEDAD EL CONSUMO DE AGUA EN PITAHAYA EN LA FINCA VOLUNTAD DE DIOS, PROGRESO, GUAYAS**, realizado por la estudiante **CHÁVEZ IÑIGUEZ EMILY ELIZET**; con cédula de identidad N°**0951847433** de la **CARRERA AGRONOMÍA**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Freddy Véliz Piguave, MSc.

Guayaquil, 06 de septiembre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN CON DOS SENSORES DE HUMEDAD EL CONSUMO DE AGUA EN PITAHAYA EN LA FINCA VOLUNTAD DE DIOS, PROGRESO, GUAYAS”**, realizado por la estudiante **CHÁVEZ IÑIGUEZ EMILY ELIZET**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Tany Burgos Herrería, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Darlyn Amaya Márquez, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Freddy Véliz Piguave, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 2 de diciembre del 2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida, esto es fruto de nuestro esfuerzo. A mi bebe Emilio por llegar a mi vida y darme otro motivo más para triunfar. A mi papá y hermano por estar a mi lado a lo largo de estos años. Y por supuesto a mis mascotas, que su compañía y lealtad han hecho de este camino uno más fácil.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, a mis padres y a mi familia por ser el principal pilar en días difíciles. Al Ing. Freddy Veliz por su paciencia y apoyo, pero sobre todo gracias por sus conocimientos a lo largo de la carrera.

Gracias a mis personas especiales, por las palabras de aliento para seguir, a mis compañeros de la carrera gracias por todas las veces que nos salvamos entre nosotros.

Gracias Milo, mi ángel, por tus años de amor en este mundo.

Y sobre todo gracias a todas las personas que me apoyaron a lo largo de estos cinco años, aunque ya no se encuentren en mi vida, estaré siempre agradecida.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **CHÁVEZ ÑIGUEZ EMILY ELIZET**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “**EVALUACIÓN CON DOS SENSORES DE HUMEDAD EL CONSUMO DE AGUA EN PITAHAYA EN LA FINCA VOLUNTAD DE DIOS, PROGRESO, GUAYAS**” para optar el título de **INGENIERA AGRÓNOMA**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 2 de diciembre del 2024

CHÁVEZ ÑIGUEZ EMILY ELIZET

C.I. 0951847433

RESUMEN

El cultivo de pitahaya es una de las frutas no tradicionales para la exportación, a la actualidad se cultiva de forma empírica con escaso conocimiento en el uso eficiente del agua. El objetivo principal fue estimar el consumo de agua en el cultivo de pitahaya mediante el uso de dos sensores de humedad con el fin de optimizar la programación de riego. Se llevó a cabo una investigación de campo con un diseño experimental mediante la prueba T de Student, los tratamientos evaluados fueron el uso de tensiómetros para la determinación de la humedad de suelo y cenirrómetro para medir la evaporación de agua, para la programación adecuada de riego agrícola además se realizó caracterización de suelo y agua de la finca Voluntad de Dios. Los resultados obtenidos mostraron que en el área de estudio presentaba suelos con una textura franco-arcillosa, lo cual era favorable para el cultivo de pitahaya. Mediante los sensores, se determinó que el volumen de agua para el cultivo de pitahaya en el periodo de evaluación fue 1953.01 m³/ha con tensiómetros y 2297.75 m³/ha con cenirrómetro. El uso de sensores de humedad mejora la eficiencia del riego en el cultivo de pitahaya, ya que permite ajustar la cantidad de agua y frecuencias de aplicación para optimizar el uso de agua para riego agrícola.

Palabras clave: *Cenirrómetro, estrategias, evapotranspiración, pitahaya, tensiómetro.*

ABSTRACT

Pitahaya cultivation is one of the non-traditional fruits for export and is currently grown empirically with little knowledge of efficient water use. The main objective was to estimate water consumption in the pitahaya crop by using two moisture sensors in order to optimize irrigation scheduling. A field research was carried out with an experimental design using Student's t-test, the treatments evaluated were the use of tensiometers for the determination of soil moisture and cenirrometer to measure water evaporation, for the proper programming of agricultural irrigation and soil and water characterization of the Voluntad de Dios farm. The results obtained showed that the study area had soils with a clay loam texture, which was favorable for pitahaya cultivation. Using the sensors, it was determined that the volume of water for pitahaya cultivation in the evaluation period was 1953.01 m³/ha with tensiometers and 2297.75 m³/ha with a cenirrometer. El uso de sensores de humedad mejora la eficiencia del riego en el cultivo de pitahaya, ya que permite ajustar la cantidad de agua y frecuencias de aplicación para optimizar el uso de agua para riego agrícola.

Key words: *Cenirrometer, evapotranspiration, pitahaya, strategies, tensiometer.*

INDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
INDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema	15
<i>1.2.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	16
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Estado del arte.....	18
2.2 Bases teóricas	20
<i>2.2.1 Características edáficas.....</i>	<i>20</i>
2.2.1.1. Textura.....	20
2.2.1.2. Estructura.....	20
2.2.1.3. Capacidad de campo.....	21
2.2.1.4. Punto de marchitez permanente	21
2.2.1.5. Conductividad eléctrica	21
2.2.1.6. pH.....	21
2.2.1.7. Agua disponible.....	21
<i>2.2.2 Características climáticas.....</i>	<i>22</i>

2.2.2.1. Clima.....	22
2.2.2.2. Temperatura.....	22
2.2.3 <i>Calidad de agua</i>	22
2.2.4 <i>Contenido de humedad</i>	23
2.2.4.1. Humedad gravitacional.....	23
2.2.4.2. Humedad capilar.....	23
2.2.4.3. Humedad higroscópica.....	23
2.2.5 <i>Sensores de humedad</i>	23
2.2.5.1. Tensiómetros.....	23
2.2.6 <i>Programación de riego</i>	24
2.3 Marco legal.....	24
2.3.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	24
2.3.2 <i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Enfoque de la investigación.....	27
3.1.1 <i>Tipo de investigación</i>	27
3.1.1.1. Investigación de campo.....	27
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i>	27
3.2 Metodología.....	27
3.2.1 <i>Variables</i>	27
3.2.1.1. Variable Independiente.....	27
3.2.1.1.1. <i>Volumen de agua</i>	27
3.2.1.2. Variable dependiente.....	27
3.2.1.2.1. <i>Pluviometría</i>	27
3.2.1.2.2. <i>Porcentaje humedad de suelo</i>	27
3.2.1.2.3. <i>Punto de marchitez</i>	27
3.2.1.2.4. <i>Conductividad eléctrica</i>	28
3.2.1.2.5. <i>pH de suelo y agua</i>	28
3.2.1.2.6. <i>Infiltración</i>	28
3.2.1.2.7. <i>Capacidad de campo</i>	28
3.2.2 <i>Tratamientos</i>	28
3.2.3 Diseño experimental.....	28
3.2.3.1. Delimitación experimental.....	28

3.2.4 Recolección de datos	29
3.2.4.1. Recursos.....	29
3.2.4.2. Métodos	29
3.2.4.2.1. <i>Método inductivo</i>	29
3.2.4.2.2. <i>Método analítico</i>	29
3.2.4.2.3. <i>Método deductivo</i>	29
3.2.4.2.4. <i>Observación directa</i>	29
3.2.4.3. Técnicas.....	29
3.2.5 Análisis estadístico	31
3.2.5.1. Análisis funcional	31
3.2.5.2. Hipótesis estadísticas	32
4. RESULTADOS.....	33
4.1 Descripción de las características edafoclimáticas y de calidad de agua en la zona de estudio	33
4.2 Determinar el volumen de agua mediante sensores de humedad en el cultivo de pitahaya	34
4.3 Proponer estrategias para la programación de riego con el uso de sensores de humedad	39
5. DISCUSION.....	41
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
6.1 Conclusiones.....	43
6.2 Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento a evaluar	28
Tabla 2. Características del ensayo	28
Tabla 3. T de Student.....	32
Tabla 4. Características del suelo	33
Tabla 5. Calidad de agua	33
Tabla 6. Datos del cenirrómetro	34
Tabla 7. Datos del tensiómetro	37
Tabla 8. Análisis de volumen de agua	39
Tabla 9. Estrategias para la programación de riego.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de suelo	49
Figura 2. Análisis de agua.....	49
Figura 3. Medición de la zona radicular	50
Figura 4. Evaluación del sistema de riego	50
Figura 5. Medición del caudal	51
Figura 6. Toma de datos del suelo.....	51
Figura 7. Calibración de los tensiómetros	52
Figura 8. Instalación de los tensiómetros.....	52
Figura 9. Tensiómetros ubicados	53
Figura 10. Análisis estadístico.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Diversos proyectos de irrigación presurizada en Ecuador se han desarrollado sin una planificación adecuada para la distribución de turnos de riego. Esto ha ocasionado una serie de desafíos, como la operación problemática debido a la presión insuficiente en el sistema de riego y conflictos relacionados con la asignación de agua. Estos inconvenientes pueden incluso dar lugar a la suspensión completa del funcionamiento del sistema de riego (Arévalo, 2022).

Como expresa Bermeo (2020) hoy en día, los agricultores que utilizan sistemas de riego, como el riego por aspersión o el riego por cañón, a menudo lo hacen de manera empírica, careciendo de un manual de operación o un diseño agronómico que establezca cuánta agua se debe aplicar, cuándo hacerlo y por cuánto tiempo debe funcionar el sistema. Esta falta de orientación conduce a problemas significativos al aplicar el agua, ya que no se dosifica de manera adecuada, lo que resulta en un uso ineficiente de este recurso no renovable.

Se puede deducir que la escasez de agua, en algunos casos, se relaciona de forma directa con diversos sistemas de actividades agrícolas que influyen de manera económica, actividades que carecen de un enfoque sostenible, lo que provoca uso inadecuado del agua (Bustamante, 2021).

Fontanet et al. (2019) mencionan en su investigación que en un entorno donde se observa el impacto del cambio climático y dado que la agricultura consume casi el 70% del agua disponible en zonas semiáridas para riego, existe una creciente posibilidad de enfrentar situaciones locales de escasez de agua. Por lo tanto, la optimización del uso del agua se convierte en uno de los principales objetivos de los investigadores.

Por esta razón la programación del riego en un cultivo es de importancia crítica en la agricultura moderna. Al establecer un calendario y un sistema de suministro de agua basado en las necesidades reales de las plantas, se logra un uso más eficiente de este recurso vital. Esto no solo brindará un ahorro significativo de agua, un recurso cada vez más escaso, sino que también tiene un impacto positivo en la calidad y el rendimiento de los cultivos. Además, al adaptar el riego a las condiciones climáticas cambiantes y al ciclo de crecimiento de las plantas, se aumenta la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y se promueve la

sostenibilidad en la agricultura, aspecto fundamental en un mundo donde el cambio climático plantea desafíos cada vez mayores para la producción de alimentos.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La problemática principal es que en la finca Voluntad de Dios el riego se realiza de manera empírica, sin una planificación adecuada, esto presenta desventajas significativas, una de las principales radica en el uso ineficiente del agua, ya que se tiende a aplicar más agua de la necesaria, lo que no solo agota recursos hídricos, sino que también puede causar problemas como la lixiviación de nutrientes y la salinización del suelo.

Además, la falta de una programación precisa puede dar lugar a riegos insuficientes o inoportunos, lo que afecta de manera adversa al cultivo. La falta de una estrategia de riego también provoca el aumento de costos operativos, ya que se desperdicia energía y recursos en riegos innecesarios además pueden presentarse también pérdidas económicas y contribuir al agotamiento de recursos naturales.

El proyecto se realiza con la intención de proponer estrategias para la programación de riego efectiva que implica realizar un análisis detallado de las necesidades hídricas del cultivo de pitahaya, teniendo en cuenta factores como el tipo de suelo, el clima, infiltración básica, profundidad radicular efectiva, se utilizará sensores de humedad para monitorear en tiempo real las condiciones y ajustar la programación según sea necesario.

1.2.2 Formulación del problema

¿Realizar una programación de riego basada en sensores de humedad, permitirá saber la cantidad y el momento adecuado para regar el cultivo de pitahaya en la finca Voluntad de Dios?

1.3 Justificación de la investigación

Es fundamental encontrar métodos precisos y eficientes para optimizar el uso del agua en la producción del cultivo de pitahaya, un cultivo que se está tornando de gran importancia tanto económica como ambiental. Dada la creciente escasez de recursos hídricos y la importancia de conservarlos, es necesario poder seguir obteniendo productos agrícolas sin la necesidad de desgastar aún más este recurso.

Los requisitos óptimos de agua para un cultivo, que permiten maximizar su producción y calidad, junto con su correspondiente diseño agronómico, son factores esenciales para la adecuada gestión y planificación de un sistema de riego específico, ya sea de superficie, aspersión o goteo. Las demandas de agua de los cultivos varían según el entorno agroecológico en el que se encuentren, sin tener en cuenta si se trata de un cultivo anual o perenne, herbáceo o leñoso (Otero et al., 2017).

Usar sensores de humedad representa un enfoque relevante, ya que puede proporcionar información valiosa y confiable para gestionar el riego en el cultivo de pitahaya. Además, esta investigación contribuirá al conocimiento general sobre el manejo sostenible del agua en la agricultura, enfocado en el cultivo ya mencionado. Se busca proporcionar una base sólida para tomar decisiones informadas en la gestión del agua en la finca Voluntad de Dios y presentar estrategias para la programación de riego que promuevan la eficiencia y la sostenibilidad de agua para uso agrícola.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La presente investigación se llevó a cabo en la parroquia Progreso provincia del Guayas, en la finca Voluntad de Dios.
- **Tiempo:** Este estudio se realizó durante siete meses.
- **Población:** El trabajo va dirigido a las personas interesadas en la correcta programación de riego en el cultivo de pitahaya.

1.5 Objetivo general

Estimar el consumo de agua en el cultivo de pitahaya mediante el uso de dos sensores de humedad en la finca Voluntad de Dios en la parroquia Progreso provincia del Guayas.

1.6 Objetivos específicos

- Describir las características edafoclimáticas y de calidad de agua en la zona de estudio
- Determinar el volumen de agua mediante sensores de humedad en el cultivo de pitahaya
- Proponer estrategias para la programación de riego con el uso de sensores de humedad

1.7 Hipótesis

El uso de sensores de humedad optimizará el uso eficiente del agua en la etapa vegetativa del cultivo de pitahaya en la parroquia Progreso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Laverde y Laverde (2021) mencionan que en Ecuador, la mayoría de las actividades relacionadas con la agricultura se llevan a cabo de forma manual o empírica, debido a esto es que las plantaciones a menudo sufren daños por plagas y hongos debido a que los agricultores no consideran variables como el clima y el tipo de suelo al momento de regar la tierra, ellos no tienen conciencia de cómo manejar este tipo de datos, lo que subraya la necesidad de comenzar a incorporar tecnologías en el sector agrícola.

De acuerdo con lo expresado por Servín et al. (2018) el consumo de agua de los cultivos se ve afectado por factores climáticos como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la velocidad del viento, así como por características propias de la planta, por esta razón para estimar las demandas hídricas de los cultivos, se calcula la suma de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta, datos necesarios para realizar una adecuada programación de riego.

En su trabajo de investigación Moreno (2023) presenta las lecturas de distintos sensores de humedad que fueron tomadas a la misma hora y mismo día que la lectura de los tensiómetros, cuyos valores fueron tomados de manera manual. Los sensores miden la misma variable, humedad volumétrica contenida en el suelo, pudiendo comparar sus medidas de manera directa. De igual modo, se incluyen los riegos realizados y las precipitaciones que ocurrieron durante el periodo de estudio.

El empleo de tecnologías para calcular y aplicar la cantidad de agua necesaria en el riego tiene un impacto significativo en la producción de ambos cultivos. Esto se evidencia en un aumento del 22.5% en el caso del banano y del 21% en el caso del maíz cuando se combinan tecnologías de riego presurizado y sensores de humedad del suelo. Por lo tanto, resulta imperativo concentrarse en ajustar la cantidad y la frecuencia de aplicación de agua para lograr una mayor eficiencia en el riego y, en consecuencia, mejorar la producción final de los cultivos agrícolas (Bancayán, 2019).

Ortiz y Larios (2020) demuestran que la máxima eficiencia en la productividad de agua se logra al aplicar 298 mm de riego, lo que posibilita una mejor gestión del sistema de riego, reduciendo el consumo de agua y energía, además de mejorar la distribución del recurso en la agricultura.

Casadesús et al. (2019) explican que los sensores de humedad del suelo se usan para automatizar el riego en cultivos de ciruela, ajustando la cantidad de agua según lo que el cultivo necesita y las condiciones del clima. Al medir la humedad en tiempo real, los sensores permiten hacer ajustes precisos en el riego, lo cual ayuda a ahorrar agua y evita problemas de suelo demasiado seco o muy húmedo. Esta tecnología es útil en sistemas donde es importante aplicar agua de forma exacta para lograr un uso eficiente del recurso.

Goldhamer et al. (2020) analizaron el uso de sensores de humedad en huertos de almendros y mencionan que estos dispositivos permiten mejorar la programación del riego al adaptarse a las necesidades de agua del cultivo. Integrar los datos de los sensores en el sistema de riego ayuda a reducir el uso innecesario de agua, ya que el riego solo se activa cuando el suelo alcanza ciertos niveles de humedad. Así, es posible ajustar el riego según las condiciones climáticas y del suelo, que efectúa una administración del agua más eficiente.

Según Aguirre et al. (2021), la combinación de sensores de humedad y datos de evapotranspiración (ETc) es útil para programar el riego en viñedos. Esta combinación permite ajustar tanto la cantidad como la frecuencia del riego, manteniendo el suelo en un nivel adecuado de humedad sin llegar a extremos de sequedad o saturación. Este método es eficaz en viñedos, ya que las necesidades de agua cambian en las diferentes etapas de crecimiento, y un riego preciso es importante para asegurar la calidad del cultivo.

Carrow et al. (2019) estudian cómo los sensores de humedad y los controladores basados en ET pueden reducir el consumo de agua en sistemas de césped sin afectar la salud de las plantas. Los sensores permiten ajustes automáticos en el sistema de riego de acuerdo con la humedad del suelo y la tasa de evapotranspiración, de modo que el césped recibe solo la cantidad de agua necesaria para mantenerse saludable sin desperdicio.

En lo que respecta a la preservación del agua, Sánchez y Acosta (2023) concuerdan en subrayar su relevancia en la agricultura. Hacen hincapié en la necesidad de suministrar la cantidad adecuada de agua a los cultivos, asimismo, enfatizan la importancia de un riego apropiado en las distintas etapas de desarrollo de las plantas.

Por último, Kisekka y Hutmacher (2022) describen cómo los sistemas de monitoreo automático de la humedad del suelo pueden mejorar la programación del riego en la agricultura, ajustando los tiempos y cantidades de riego según las condiciones del suelo. Estos sistemas, que integran sensores de humedad y datos del clima, permiten una programación precisa y eficiente del riego, evitando tanto el riego excesivo como la falta de agua. Esto apoya prácticas agrícolas sostenibles al reducir el consumo de agua en varios tipos de cultivos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Características edáficas

La pitahaya, también conocida como *Hylocereus undatus*, es una planta cactácea originaria de América. Su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales ha facilitado su cultivo en países con climas y tipos de suelo muy diferentes. Debido a su naturaleza xerófita, especializada en sobrevivir en ambientes secos y áridos, ha desarrollado estrategias para optimizar la captación de agua, como el desarrollo de raíces grandes y extensas que se extienden de manera horizontal (Montesinos et al., 2015).

2.2.1.1. Textura

La calidad del suelo, en especial su textura, es una propiedad de gran relevancia, ya que está vinculada a los procesos de degradación y al potencial de producción agrícola. Es fundamental caracterizar el suelo de manera adecuada para poder gestionarlo y planificar actividades agrícolas. La textura del suelo refleja la proporción de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo, y ejerce influencia en otras propiedades como la densidad aparente, la porosidad y, por ende, en la capacidad de movimiento y almacenamiento de líquidos (agua y aire) en el suelo (Camacho et al., 2017).

2.2.1.2. Estructura

La estructura y resistencia del suelo desempeñan un papel fundamental en numerosos procesos físicos, incluidos la absorción de agua, la capacidad de retener humedad, la prevención de la erosión, la resistencia mecánica a la penetración, el crecimiento de las raíces y la aireación, entre otros. La estructura del suelo ejerce control sobre cómo se distribuye, fluye y almacena el agua, las sustancias disueltas y los gases en el suelo (Osuna et al., 2004).

2.2.1.3. Capacidad de campo

Los suelos albergan distintas cantidades de agua, lo cual varía según su textura y estructura. La cantidad máxima que pueden retener se conoce como "capacidad de campo" (CC). Tras la saturación del suelo debido a lluvia o riego, parte del agua se desplaza hacia abajo (drenaje) por la gravedad, reduciendo de manera gradual la humedad del suelo. Con el tiempo, este proceso de drenaje disminuye hasta llegar a la "capacidad de campo", momento en el que la humedad del suelo se estabiliza (Lincoln et al., 2013).

2.2.1.4. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente se refiere al nivel de humedad en el suelo a tal punto en el que la planta ya no puede absorber más agua, lo que provoca que la planta se marchite, a menos que se le suministre agua adicional. No obstante, la mayoría de las plantas experimentarán un estrés hídrico significativo mucho antes de llegar a este punto, y es muy probable que se presente una disminución notable en su rendimiento mucho antes de llegar al punto de marchitez (Lincoln et al., 2013).

2.2.1.5. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo es un indicador que refleja la cantidad de sales disueltas en el suelo y su aptitud para conducir electricidad. Se mide en función de la velocidad con la que la corriente eléctrica pasa a través de una solución salina, y esta velocidad es proporcional a la concentración de sales disueltas en la solución. En el contexto de los suelos, la conductividad eléctrica está influenciada por la cantidad de sales presentes en el agua que contienen, lo que determina su nivel de dilución (Soriano, 2018).

2.2.1.6. pH

La medición de la concentración del ion hidrógeno es un aspecto significativo tanto en la investigación de las características como en la clasificación de los suelos. Para determinar esta concentración, suelen emplearse métodos de medición basados en volúmenes, colorimetría o potenciometría, que permiten expresar la concentración en términos de unidades de pH (Beretta et al., 2015).

2.2.1.7. Agua disponible

La cantidad completa de agua que una planta puede absorber se conoce como "agua disponible para la planta" (ADP). Esta cantidad se obtiene restando la capacidad de campo (CC) de la capacidad de marchitez permanente (PMP). Por lo

general, se expresa como un porcentaje en volumen, que es el volumen de agua con relación al volumen total de muestra de suelo (Lincoln et al., 2013).

2.2.2 Características climáticas

La pitahaya, también conocida como la "Fruta del Dragón," es un tipo de fruta exótica cuya popularidad se está extendiendo por todo el mundo. Su cultivo se encuentra en regiones subtropicales y tropicales de América Latina. En su estado silvestre, se puede hallar en países como México, Venezuela, Colombia, Brasil, Costa Rica y Ecuador, con una presencia notable en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Palora (Verona et al., 2020).

2.2.2.1. Clima

La pitahaya se encuentra en diversos ecosistemas que abarcan desde el nivel del mar hasta una altitud de 1840 metros sobre el nivel del mar. Se desarrolla en áreas con una variación en la cantidad de lluvia que va desde 350 mm hasta más de 2000 mm, y en un rango de temperaturas que oscilan entre 11 y 40 °C, como se informa en el estudio de (Ortiz y Carrillo, 2012). A pesar de su capacidad para sobrevivir en climas muy cálidos y secos con temperaturas superiores a 38-40 °C, se observa que temperaturas promedio por encima de 37-38 °C pueden dañar el tejido del tallo y resultar en la muerte de la planta. La adaptación óptima se logra en climas con temperaturas promedio que van de 21 a 29 °C (Monge y Loría, 2023).

2.2.2.2. Temperatura

La pitahaya es un cultivo que no tolera temperaturas muy bajas, pero, por otro lado, las temperaturas máximas a 38°C pueden provocar graves quemaduras en la planta.

2.2.3 Calidad de agua

Como expresa Sierra (2011) en su libro, es difícil dar una definición exacta de lo que es calidad de agua, pero esta misma se puede caracterizar de dos maneras: en primer lugar, mediante una serie de concentraciones, especificaciones y características físicas de sustancias orgánicas e inorgánicas; y en segundo lugar, por la composición y el estado de la vida acuática presente en dicho cuerpo de agua. La calidad del agua varía en función de factores tanto externos como internos al cuerpo de agua, lo que resulta en cambios a lo largo del tiempo y diferencias en diferentes ubicaciones.

2.2.4 Contenido de humedad

El contenido de humedad del suelo es un factor importante empleado en las disciplinas ambientales y, sobre todo, en la ciencia del suelo. Su uso más común se relaciona con la elaboración de cálculos para determinar la cantidad de agua necesaria en situaciones de riego (Quichimbo et al., 2016).

2.2.4.1. Humedad gravitacional

La humedad libre, que se desplaza gracias a la gravedad, se halla en los macroporos, fluye de manera rápida en suelos con buen drenaje y no se considera disponible. Su drenaje se efectúa en un lapso de dos a tres días tras la lluvia, dependiendo de las propiedades del suelo (Caicedo et al., 2021).

2.2.4.2. Humedad capilar

Es la humedad de microporo, que está disponible, juega un papel central en las interacciones fisicoquímicas y mineralógico-biológicas entre el suelo y su entorno. Esta humedad se mantiene dentro del suelo debido a las fuerzas de cohesión y adhesión, contrarrestando la influencia de la gravedad (Caicedo et al., 2021).

2.2.4.3. Humedad higroscópica

Se encuentra como una película delgada alrededor de las partículas del suelo y resulta difícil de eliminar debido a la presencia de fuerzas adhesivas. Los suelos arcillosos retienen una cantidad mayor de esta humedad higroscópica, conocida como "agua estructural," en comparación con los suelos arenosos (Caicedo et al., 2021).

2.2.5 Sensores de humedad

En lo que respecta a precisión y exactitud, la mayoría de los sensores de humedad del suelo proporcionan información suficiente para gestionar el riego de manera efectiva. En general, las lecturas de estos sensores presentadas de manera gráfica resultan ser una forma conveniente de evaluar el contenido de agua en el suelo. En algunos casos, sobre todo cuando se trata de investigaciones y regulaciones, se prefieren las lecturas en tiempo real de los sensores en lugar de las representaciones gráficas semanales, ya que facilitan la cuantificación del agua utilizada a lo largo de la temporada de cultivo (Herrera et al., 2023).

2.2.5.1. Tensiómetros

Como menciona Joya (2022) en su trabajo de investigación, los tensiómetros convencionales están conformados por cinco partes:

Un dispositivo compuesto por un tubo-depósito impermeable, que incorpora una cápsula porosa en su extremo inferior, junto con un vacuómetro graduado en centibares (cb), una cámara de reserva y una tapa enroscable en la parte superior del tensiómetro, la cual contiene un tapón de neopreno en su interior. La cápsula porosa, de material cerámico, facilita la circulación del agua entre el suelo y el tensiómetro, permitiendo así la evaluación de la disponibilidad de agua.

Para que el tensiómetro pueda funcionar de manera correcta, la punta de cerámica debe estar en contacto directo con el suelo y sobre todo hay que colocar el dispositivo a la profundidad donde las raíces se desarrollan.

Como ventaja de hacer uso de tensiómetros está la posibilidad de leer la humedad del suelo de manera inmediata para planificar el riego y estos a su vez pueden realizar mediciones constantes en el mismo punto. Por el contrario, la desventaja de usar estos sensores de humedad es que se necesita de inspecciones regulares, además, los tensiómetros funcionan solo en suelos con una succión de humedad menor a 80 cb lo que lo hace no tan efectivo en suelos más secos (Enciso et al., 2007).

2.2.6 Programación de riego

La programación del riego consiste en aplicar agua a los cultivos en el momento y la cantidad considerados apropiados, y se considera una práctica de gestión agrícola eficiente. En la mayoría de los casos o se basa en un calendario de riego preestablecido que tiene en cuenta las necesidades de agua de la planta. Para lograr una programación efectiva del riego, se consideran diversos factores, como la tasa de evapotranspiración de las plantas, las propiedades del suelo y la distribución de las raíces (Lincoln et al., 2013).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas (p.432).

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su

protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los proteja y promueva la soberanía alimentaria.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008, [Art. 306, 409, 410, 411], p.449).

2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

CAPÍTULO I

Artículo 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley.

El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

Artículo 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

Artículo 4.- Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

- a)** La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b)** El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
- c)** El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- d)** El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;

- e) El acceso al agua es un derecho humano;
- f) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua;
- h) La gestión del agua es pública o comunitaria.

Artículo 5.- Sector estratégico. El agua constituye patrimonio nacional, sector estratégico de decisión y de control exclusivo del Estado a través de la Autoridad Única del Agua. Su gestión se orientará al pleno ejercicio de los derechos y al interés público, en atención a su decisiva influencia social, comunitaria, cultural, política, ambiental y económica (p. 3).

Artículo 10.- Dominio hídrico público. El dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales:

- a) Los ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y caídas naturales;
 - b) El agua subterránea;
 - c) Los acuíferos a los efectos de protección y disposición de los recursos hídricos;
 - d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus fuentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la escorrentía;
 - e) Los álveos o cauces naturales de una corriente continua o discontinua que son los terrenos cubiertos por las aguas en las máximas crecidas ordinarias;
 - f) Los lechos y subsuelos de los ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales, en cauces naturales;
 - g) Las riberas que son las fajas naturales de los cauces situadas por encima del nivel de aguas bajas;
 - h) La conformación geomorfológica de las cuencas hidrográficas, y de sus desembocaduras;
 - i) Los humedales marinos costeros y aguas costeras; y,
 - j) Las aguas procedentes de la desalinización de agua de mar.
- (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p. 5).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 *Tipo de investigación*

3.1.1.1. Investigación de campo

Se hizo uso de sensores de humedad colocados en la zona radicular de la planta para obtener información y así poder hacer uso eficiente del agua destinada para uso agrícola, con la información obtenida se propusieron estrategias para tecnificar el riego en la zona de estudio.

3.1.2 *Diseño de investigación*

Se llevó a cabo una investigación de campo con el propósito de tecnificar el riego agrícola usado en la plantación. En la presente investigación, se recopiló información relacionada con la humedad del suelo, la tasa de infiltración y la evapotranspiración del cultivo. Esto con la finalidad de poder proponer una estrategia de riego acorde a las necesidades de la planta. Además, se realizó un análisis estadístico descriptivo como parte de este estudio de campo.

3.2 Metodología

3.2.1 *Variables*

3.2.1.1. Variable Independiente

3.2.1.1.1. *Volumen de agua.*

Se utilizarón tensiómetros, los cuales fueron insertados en el suelo a 15 cm y 20 cm de profundidad

3.2.1.2. Variable dependiente

3.2.1.2.1. *Pluviometría.*

Para obtener el valor de la pluviometría se utilizó un instrumento diseñado para poder recolectar y medir la precipitación (mm) en la zona de estudio.

3.2.1.2.2. *Porcentaje humedad de suelo.*

Para conocer el porcentaje de humedad del suelo se utilizó el sensor TEROS 12, este dispositivo fue insertado en el primer horizonte después de haber realizado una calicata, asegurando que este en buen contacto las púas del sensor con el suelo.

3.2.1.2.3. *Punto de marchitez.*

Este valor se obtuvo mediante los valores del porcentaje de arcilla, limo y arena presentes en el suelo.

3.2.1.2.4. Conductividad eléctrica.

Para obtener estos valores también se hizo uso del TEROS 12

3.2.1.2.5. pH de suelo y agua.

El pH de suelo se obtuvo mediante un pH metro Hanna y el de agua como resultado del análisis enviado al INIAP.

3.2.1.2.6. Infiltración

Para conocer la infiltración básica (mm/h) se hizo uso de un infiltrometro de minidisco.

3.2.1.2.7. Capacidad de campo.

La capacidad de campo se obtuvo mediante el análisis de suelo que fue realizado en el INIAP.

3.2.2 Tratamientos

En el presente trabajo de investigación para realizar la comparación entre los sensores de humedad se denominaron como tratamientos:

Tabla 1.

Tratamiento a evaluar

Tratamientos	Métodos
T1	Tensiómetros
T2	Cenirrómetro

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.3 Diseño experimental

Se trabajó en una superficie total de 4 ha con parcelas experimentales de 218.498 m, separadas por 3 metros entre sí. Se usó tensiómetros instalados a diferentes profundidades y un Cenirrómetro para medir la evapotranspiración, luego se realizó una comparación y se evaluaron los dos grupos bajo una t de Student para poder obtener datos.

3.2.3.1. Delimitación experimental

Tabla 2.

Características del ensayo

Características	Descripción
Superficie total del ensayo	4 ha
Superficie de la parcela experimental	218.498 m
Separación entre parcelas	3 m

Separación entre plantas	3 m
Total del plantas por parcela útil	300
Total del plantas por hectárea	1200

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Análisis de suelo

Cuaderno de campo

Tensiómetros

Laptop

Piola y estacas

Vasos plásticos

Cámara

Pluviómetro

Manómetro

3.2.4.2. Métodos

3.2.4.2.1. Método inductivo.

La información obtenida para el presente proyecto de investigación proviene de fuentes confiables, con bases científicas comprobadas.

3.2.4.2.2. Método analítico.

Por medio del método analítico se realizó la evaluación del sistema de riego por micro aspersión que se encuentra en la zona de estudio y que nos proporcionó la información adecuada para poder manejar con eficiencia el recurso hídrico.

3.2.4.2.3. Método deductivo.

Una vez obtenidos los datos necesarios se efectuó comparaciones con otras investigaciones y de esta manera poder obtener conclusiones acordes a los objetivos propuestos en este proyecto de investigación.

3.2.4.2.4. Observación directa.

Por medio de la observación directa se recolectaron datos en campo midiendo el volumen de agua en el suelo y de qué manera influye en el buen manejo del agua.

3.2.4.3. Técnicas

Objetivo 1: Describir las características edafoclimáticas y de calidad de agua en la zona de estudio

Actividad 1: Se comenzó con el reconocimiento del área de estudio, esta tiene un sistema de riego por micro aspersión

Actividad 2: se procedió a realizar una calicata para conocer la profundidad radicular efectiva y se tomó una muestra para enviar al laboratorio y determinar la clase textural.

Actividad 3: Se realizó un análisis de agua y suelo.

Actividad 4: Se reconoció los siguientes parámetros: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, conductividad eléctrica y saturación del suelo.

Objetivo 2: Determinar el volumen de agua mediante sensores de humedad en el cultivo de pitahaya

Actividad 1: Se realizó la evaluación al sistema de riego por micro aspersión

Actividad 2: Se colocaron dos puntos de muestreo en las parcelas experimentales, se definieron dentro de las áreas radiculares de la planta, sobre todo donde se pueda captar las condiciones de suelo y humedad.

Actividad 3: Se estableció la programación de riego en base a los datos de las lecturas realizadas diarias que nos darán los tensiómetros ubicados a 15 cm y 20 cm, siendo esta la profundidad efectiva de la raíz en el cultivo de pitahaya.

Actividad 4: Se calculó el déficit de la lámina bruta y lámina neta

$$\text{Déficit bruto} = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * Zr * Ur$$

CC= capacidad de campo

Da=densidad aparente

Da=densidad aparente

Zr= Profundidad radicular del cultivo expresado en metros

UR= umbral de riego

$$LB \text{ neta} = \frac{\text{total del déficit}}{\text{eficiencia del sistema de riego}}$$

Actividad 5: Se calculó el tiempo de riego requerido para satisfacer las necesidades del cultivo, y este cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula

$$TR = \frac{\text{Lamina bruta}}{\text{Intensidad pluviométrica}} = \text{horas}$$

Actividad 6: La intensidad pluviométrica se mide en milímetros por unidad de tiempo, sobre todo en milímetros por hora. Para calcularla se tomó el tiempo de duración de lluvia y el tiempo de retorno.

$$IP = \frac{227,12 * Q(aspersor)}{EA * EL}$$

IP= intensidad pluviométrica

Q= Caudal del aspersor en gpm.

EA= espaciamento entre aspersores

EL= espaciamento entre laterales

Objetivo 3: Proponer estrategias para la programación de riego con el uso de sensores de humedad

Actividad 1: Se realizó una revisión de todos los datos recolectados y se procedió a realizar una propuesta para un mejor manejo del riego.

3.2.5 Análisis estadístico

3.2.5.1. Análisis funcional

Se llevó a cabo una comparación entre las poblaciones por medio de la prueba t de Student, los datos resultantes se los ingresó en el software Minitab para calcular la correlación de Pearson. La fórmula a emplear depende del tamaño de la muestra:

Si las muestras son homogéneas, se utilizó una fórmula específica:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} < 1$$

Y si el tamaño de la muestra es mayor, se aplicó otra fórmula distinta:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > 1$$

La fórmula t de Student:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Con grados de libertad:

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

Tabla 3.

T de Student

Tratamiento	Toma de Muestras	Comparación	t-Student
T1	15	$\mu 1 = \mu 2$	p valor > α
T2	15	$\mu 1 \neq \mu 2$	p valor < α

Elaborado por: La Autora, 2024

3.2.5.2. Hipótesis estadísticas

$$\mu 1 = \mu 2$$

Ho: El uso de sensores de humedad optimizará el uso eficiente del agua en la etapa vegetativa del cultivo de pitahaya en la parroquia Progreso.

Ha: El uso de sensores de humedad no logra optimizar el uso eficiente del agua en la etapa vegetativa del cultivo de pitahaya en la parroquia Progreso.

4. RESULTADOS

4.1 Descripción de las características edafoclimáticas y de calidad de agua en la zona de estudio

La finca Voluntad de Dios presenta suelos con una textura arcillosa (AR), compuestos por un 24% de arena, 42% de limo y 34% de arcilla. La densidad aparente del suelo es de 1.32 g/cm^3 . El pH del suelo es de 7.21, mientras que la conductividad eléctrica (C.E) alcanza los 0.51 mS/cm. La humedad del suelo varía entre el 28% y el 35%, y el intercambio catiónico se sitúa entre 26 y 28 meq/100g. Además, se determinó que las raíces del cultivo de pitahaya en estos suelos franco arcillosos alcanzan una profundidad de 0.25 m.

Tabla 4.

Características del suelo

Variable	Característica
Tipos de suelo	Franco-arcilloso
Textura %	24-42-34
densidad aparente (g/cm^3)	1.32
pH	7.21
C.E (mS/cm)	0.51
% de Humedad	28.4%
Profundidad radicular (m)	0.25
CIC (meq/100gr)	28
Números de Horizontes	2

Fuente: INIAP (2024)

Elaborado por: La Autora, 2024

Con respecto a la calidad de agua, por medio de los análisis realizados se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5.

Calidad de agua

Parámetro	Valor
Calcio (Ca) mg/l	25.01
Magnesio (Mg) mg/l	6.55
Sodio (Na) mg/l	14.80
Potasio (K) mg/l	2.26
pH	7.47
C.E (mS/cm)	0.25
Cloruro (Cl) mg/l	164
Sulfato (SO_4) mg/l	41.80
Hierro (Fe) mg/l	12

Fuente: INIAP (2024)

Elaborado por: La Autora, 2024

El análisis de la muestra de agua ha proporcionado información crucial sobre su aptitud para riego. El calcio (25.01 mg/l) y el magnesio (6.55 mg/l) presentan niveles dentro de los rangos adecuados, lo que contribuye a la estructura del suelo, favoreciendo la absorción de nutrientes por parte de las plantas. El pH de 6.67 es otro punto positivo, ya que se encuentra dentro del rango óptimo para riego agrícola. La conductividad eléctrica de 0.25 mS/cm indica una baja salinidad del agua. Aunque el agua es adecuada para riego, es fundamental gestionar los niveles de sodio, cloruro y de hierro para evitar efectos negativos a largo plazo sobre la calidad del suelo y el crecimiento de los cultivos.

4.2 Determinación del volumen de agua mediante sensores de humedad en el cultivo de pitahaya

Durante la práctica, se evaluó el sistema de riego mediante mediciones que revelaron un caudal de 42.9 L/h, permitiendo calcular una intensidad pluviométrica de 4.769 mm/h. Asimismo, se registró valores de capacidad de campo (CC) de 36.1 % y del punto de marchitez permanente (PMP) en un 21.2 %, junto con una densidad aparente de 1.32 g/cm³. Para conocer la profundidad radicular efectiva (Zr), se realizó una calicata que arrojó una profundidad de 0.25 cm.

Para determinar la lámina de riego en el cultivo de pitahaya, se recopiló datos en el sitio de estudio. Empleando un tanque cenirrómetro, se midió la evapotranspiración diaria a lo largo de 14 semanas y, con los datos obtenidos del tensiómetro, se calculó la lámina de riego. Por medio de estos valores se pudo establecer la lámina de riego en el suelo y calcular volúmenes semanales de agua, lo que resultó en un consumo total de 2297.75 m³/ha para el cenirrómetro y 1953.01 m³/ha para el tensiómetro.

Tabla 6.

Datos del cenirrómetro

DÍA	FECHA	EVAPORÍMETRO (mm)	KTAN	KC	ETC (mm)	LAMINA DE RIEGO BRUTA (mm)	LAMINA DE RIEGO NETA (mm)	PRECIPITACION HORARIA (mm/h)	TIEMPO DE RIEGO (min)	GASTOS SEMANAL mm/semana	GASTOS SEMANAL m ³ /ha
1	27/5/2024	0	0.8	1	0.0		0.00				
2	28/5/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30
3	29/5/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20
4	30/5/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40
5	31/5/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30

6	1/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	127.40
7	3/6/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
8	4/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
9	5/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
10	6/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
11	7/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
12	8/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	163.80
13	10/6/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
14	11/6/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
15	12/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
16	13/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
17	14/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
18	15/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	154.70
19	17/6/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
20	18/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
21	19/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
22	20/6/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
23	21/6/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
24	22/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	136.50
25	24/6/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
26	25/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
27	26/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
28	27/6/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
29	28/6/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
30	29/6/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	136.50
31	1/7/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
32	2/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
33	3/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
34	4/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
35	5/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
36	6/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	163.80
37	8/7/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	
38	9/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
39	10/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
40	11/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
41	12/7/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	
42	13/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	172.90
43	15/7/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
44	16/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
45	17/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
46	18/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
47	19/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
48	20/7/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	182.00
49	22/7/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
50	23/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
51	24/7/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
52	25/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
53	26/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	

54	27/7/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	182.00
55	29/7/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
56	30/7/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	
57	31/7/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
58	1/8/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	
59	2/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
60	3/8/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	218.40
61	5/8/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
62	6/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
63	7/8/2024	1.5	0.8	1	1.1	1.1	1.37	8	10.31	1.37	13.65	
64	8/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
65	9/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
66	10/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	150.15
67	12/8/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
68	13/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
69	14/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
70	15/8/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
71	16/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
72	17/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	154.70
73	19/8/2024	5	0.8	1	3.6	3.6	4.55	8	34.36	4.55	45.50	
74	20/8/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	
75	21/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
76	22/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
77	23/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
78	24/8/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	182.00
79	26/8/2024	6	0.8	1	4.4	4.4	5.46	8	41.24	5.46	54.60	
80	27/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
81	28/8/2024	2	0.8	1	1.5	1.5	1.82	8	13.75	1.82	18.20	
82	29/8/2024	1	0.8	1	0.7	0.7	0.91	8	6.87	0.91	9.10	
83	30/8/2024	3	0.8	1	2.2	2.2	2.73	8	20.62	2.73	27.30	
84	31/8/2024	4	0.8	1	2.9	2.9	3.64	8	27.49	3.64	36.40	172.90
Total de lámina de agua (mm)										2297.75		

Elaborado por: La Autora, 2024.

Los registros obtenidos mediante los sensores de humedad en el cultivo de pitahaya muestran que el volumen de agua necesario varía cada semana, debido en gran parte por la evaporación. En promedio, el riego necesita 20.91 minutos, que cumple con una lámina de riego de 2.77 mm. Además, los valores del tensiómetro antes de cada riego presentan fluctuaciones, lo que pone de manifiesto la variabilidad en la retención de agua en el suelo y la necesidad de ajustar el riego según estos niveles.

Tabla 7.

Datos del tensiómetro

DIA	FECHA	TENSIOMETRO	CC (%)	PMP (%)	LAMINA DE RIEGO (mm)	LAMINA DE RIEGO NETA (mm)	LAMINA DE RIEGO ACUMULADA (mm)		TIEMPO DE RIEGO (min)	GASTOS SEMANAL mm/semana	GASTOS DIARIO m ³ /ha	
1	27/5/2024	0	32.0	21.2	2.11	2.37		-				
2	28/5/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	4.15	Riego	31.36	4.15	41.53	
3	29/5/2024	40	31.0	21.2	2.05	2.30	4.08	-				
4	30/5/2024	60	26.0	21.2	1.72	1.93	4.23	Riego	31.92	4.23	42.27	
5	31/5/2024	50	32.0	21.2	2.11	2.37	4.30	-				
6	1/6/2024	40	25.0	21.2	1.65	1.85	4.23	Riego	31.92	4.23	42.27	126.06
7	3/6/2024	70	24.0	21.2	1.58	1.78	3.63	Riego	27.44	3.63	36.33	
8	4/6/2024	40	33.0	21.2	2.18	2.45	4.23	-				
9	5/6/2024	50	25.5	21.2	1.68	1.89	4.34	Riego	32.76	4.34	43.38	
10	6/6/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.26	-				
11	7/6/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	4.15	Riego	31.36	4.15	41.53	
12	8/6/2024	60	28.0	21.2	1.85	2.08	4.15	Riego	15.68	2.08	20.76	142.00
40	10/6/2024	40	24.0	21.2	1.58	1.78	3.86	Riego	29.12	3.86	38.56	
14	11/6/2024	50	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
15	12/6/2024	60	26.0	21.2	1.72	1.93	4.26	Riego	32.20	4.26	42.64	
16	13/6/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.30	-				
17	14/6/2024	60	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
18	15/6/2024	50	27.0	21.2	1.78	2.00	4.00	Riego	15.12	2.00	20.02	142.30
19	17/6/2024	60	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
20	18/6/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
21	19/6/2024	50	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
22	20/6/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
23	21/6/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
24	22/6/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	140.81
25	24/6/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
26	25/6/2024	60	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
27	26/6/2024	40	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
28	27/6/2024	50	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
29	28/6/2024	40	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
30	29/6/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	140.81
31	2/7/2024	70	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
32	3/7/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
33	4/7/2024	50	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
34	5/7/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
35	6/7/2024	60	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
36	7/7/2024	50	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	140.81
37	8/7/2024	60	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
38	9/7/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
39	10/7/2024	50	25.5	21.2	1.68	1.89	4.23	Riego	31.92	4.23	42.27	
40	11/7/2024	60	28.0	21.2	1.85	2.08	3.97	-				

41	12/7/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	3.81	Riego	28.79	3.81	38.11	
42	13/7/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	138.22
43	14/7/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
44	15/7/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
45	16/7/2024	50	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
46	17/7/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
47	18/7/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
48	19/7/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	140.81
49	20/7/2024	40	25.0	21.2	1.65	1.85	3.86	Riego	29.12	3.86	38.56	
50	21/7/2024	50	31.5	21.2	2.08	2.34	4.19	-				
51	22/7/2024	60	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
52	23/7/2024	50	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
53	24/7/2024	40	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
54	25/7/2024	50	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	141.56
55	26/7/2024	70	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
56	27/7/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
57	28/7/2024	50	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
58	29/7/2024	60	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
59	30/7/2024	40	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
60	31/7/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	140.81
61	1/8/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
62	2/8/2024	60	28.0	21.2	1.85	2.08	3.86	-				
63	3/8/2024	40	25.0	21.2	1.65	1.85	3.93	Riego	29.68	3.93	39.30	
64	4/8/2024	50	32.0	21.2	2.11	2.37	4.23	-				
65	5/8/2024	40	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
66	6/8/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	138.22
67	7/8/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
68	8/8/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
69	9/8/2024	50	25.5	21.2	1.68	1.89	4.23	Riego	31.92	4.23	42.27	
70	10/8/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.26	-				
71	11/8/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
72	12/8/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	141.19
73	13/8/2024	70	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
74	14/8/2024	50	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
75	15/8/2024	60	26.0	21.2	1.72	1.93	4.26	Riego	32.20	4.26	42.64	
76	16/8/2024	40	32.0	21.2	2.11	2.37	4.30	-				
77	17/8/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	4.11	Riego	31.03	4.11	41.08	
78	18/8/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	141.56
79	19/8/2024	50	24.0	21.2	1.58	1.78	3.78	Riego	28.56	3.78	37.82	
80	20/8/2024	40	31.5	21.2	2.08	2.34	4.12	-				
81	21/8/2024	50	25.0	21.2	1.65	1.85	4.19	Riego	31.64	4.19	41.90	
82	22/8/2024	60	28.0	21.2	1.85	2.08	3.93	-				
83	23/8/2024	50	23.4	21.2	1.54	1.74	3.81	Riego	28.79	3.81	38.11	
84	24/8/2024	60	27.0	21.2	1.78	2.00	3.74	Riego	15.12	2.00	20.02	137.85

**Total de
lámina de
agua
(mm)**

1953.01

En la tabla se presentan los volúmenes de agua utilizados semana a semana y en total durante el periodo de estudio para cada tratamiento

Tabla 8.

Análisis de volumen de agua

Tratamiento	Volumen semanal (mm)	Volumen total (mm)
Cenirrómetro	229.78	2297.75
Tensiómetro	195.30	1953.01
Valor p	0.0021	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0.05$)

Elaborado por: La autora, 2024

Los datos obtenidos muestran que el cenirrómetro requirió un volumen de agua semanal promedio de 229.78 mm, mientras que el tensiómetro utilizó 195.30 mm en el mismo periodo. Esto implica que el tratamiento con cenirrómetro emplea más de agua por semana en comparación con el Tensiómetro. En términos de volumen total, el cenirrómetro acumuló un uso de 2297.75 mm durante el tiempo de estudio, a diferencia de los 1953.01 mm empleados por el tensiómetro.

4.3 Propuesta de estrategias para la programación de riego con el uso de sensores de humedad

En la siguiente tabla se abordan las problemáticas encontradas en la investigación, además se presentan las estrategias que permitirán mejorar la planificación del riego y optimización del uso del agua.

Tabla 9.

Estrategias para la programación de riego

Ítem	Problemática	Propuesta de manejo
Cantidad de agua	Falta de conocimiento de los trabajadores sobre la cantidad de agua que se debe adicionar en el cultivo de pitahaya mediante las metodologías del cenirrómetro y tensiómetros	Capacitaciones continuas para que los trabajadores conozcan e interpreten en base a la evaporación del agua (cenirrómetro) el tiempo e intervalo de riego en el cultivo de pitahaya. Capacitaciones del uso y manejo de tensiómetros para determinar mediante la tensión del agua la determinación de la humedad de suelo y el tiempo e intervalo de riego en el cultivo de pitahaya

Calidad de agua	No se realizan monitores continuos de las variables como el pH, nutrientes, sales y contaminantes del agua para uso agrícola	Monitoreos periódicos que permitan identificar a tiempo las posibles problemáticas en referencia a química del agua.
Tiempo de riego	Los encargados del riego en la finca desconocen el tiempo de funcionamiento del sistema de riego para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, un uso excesivo o deficit puede provocar problemas fitosanitarios o de estrés en el cultivo.	Implementación de calendario de riego diario que describa el tiempo para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo mediante el método del cenirrometro. Por cada 3mm de evaporación de agua, se debe tener un tiempo de riego de 20.91 minutos con una lámina de aplicación de 2.77 mm diarios.

Elaborado por: La autora, 2024

5. DISCUSION

Los resultados que se muestran en esta investigación reflejan la importancia de aplicar tecnologías de monitoreo de humedad y programación de riego en cultivos como la pitahaya. De acuerdo con Laverde y Laverde (2021), una de las principales dificultades que enfrentan los agricultores en Ecuador radica en la gestión ineficaz del agua debido a métodos empíricos que no consideran variables cruciales como el tipo de suelo y el clima. Esto subraya la necesidad de integrar tecnologías en el sector agrícola para optimizar los recursos y mejorar la productividad.

La finca Voluntad de Dios presenta características edafoclimáticas y de calidad de agua que justifican la adopción de sistemas de riego más controlados y específicos. Con suelos de textura arcillosa y un contenido de humedad que varía entre el 28% y 35%, el manejo de la humedad es relevante para evitar problemas de saturación o deficiencia hídrica, ambos perjudiciales para el desarrollo óptimo del cultivo.

Los estudios de Servín et al. (2018) y Aguirre et al. (2021) concuerdan con este enfoque al señalar que el consumo de agua de los cultivos depende tanto de factores climáticos como de las características de la planta. La programación de riego basada en el uso de sensores y datos de evapotranspiración permite ajustar la cantidad y frecuencia del riego que disminuye el desperdicio de agua y asegura una distribución uniforme en el perfil del suelo.

Los datos de esta investigación, incluyendo un caudal de 42.9 L/h y una intensidad pluviométrica de 4.76 mm/h, junto con valores de capacidad de campo (36.1%) y punto de marchitez permanente (21.2%), validan el enfoque de riego preciso en función de las características del suelo. Esto concuerda con lo señalado por Casadesús et al. (2019) y Goldhamer et al. (2020), quienes demuestran que el uso de sensores de humedad en cultivos puede automatizar el riego, ajustando las cantidades de agua a las necesidades específicas del cultivo y reduciendo el consumo innecesario. En este caso, el uso de sensores de humedad y tensiómetros facilitó la determinación de la lámina de riego, con un promedio de 20.6 minutos de riego para alcanzar una lámina neta de 2.73 mm, lo que refleja una precisión que sería más difícil de lograr sin la incorporación de esta tecnología.

Asimismo, el análisis de la calidad de agua demuestra que existen condiciones favorables para el riego, con niveles adecuados de calcio, magnesio y una baja conductividad eléctrica (0.25 mS/cm), lo cual es positivo para evitar problemas de salinidad que podrían afectar la estructura del suelo y el desarrollo de las plantas en el largo plazo Bancayán (2019). No obstante, los niveles de sodio, cloruro y hierro requieren atención para evitar acumulaciones que podrían impactar de forma negativa en la absorción de nutrientes y en la salud del suelo, lo cual coincide con lo mencionado por Sánchez y Acosta (2023) sobre la necesidad de manejar de manera adecuada la calidad del agua en la agricultura.

Las estrategias para el uso eficiente del agua en el cultivo de pitahaya detalla que las metodologías implementadas satisfacen los requerimientos del cultivo, además del de las láminas e intervalos de riego a aplicar en la fase vegetativa del cultivo de pitahaya con un volumen de 1953.01 m³/ha en el método del tensiómetro y 2297.75 m³/ha con el método del cenirómetro por lo que se concuerda con la investigaciones de Casadesús et al. (2019), quienes subrayan que la utilización de sensores de humedad contribuye a un uso eficiente y sostenible del agua para riego agrícola. Además, resultados similares con la investigación de Ortiz y Larios (2020) destacan que una adecuada programación del riego no solo mejora la eficiencia del uso del agua, sino que también reduce los costos operativos y optimiza el rendimiento del cultivo. Esto se vuelve particularmente relevante en un contexto donde el cambio climático plantea desafíos significativos para la disponibilidad de recursos hídricos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En conclusión, los resultados del análisis edáfico y de calidad de agua en la zona de estudio, destacan que el suelo franco arcilloso presenta condiciones favorables para el cultivo de pitahaya, al poseer una textura adecuada, 24% arena, 42% limo y 34% arcilla, con una densidad aparente de 1.32 g/cm³, pH de 7.21 y una conductividad eléctrica moderada de 0.51 mS/cm, lo cual indica niveles de salinidad aceptables. La humedad del suelo, que varía entre 28% y 35%, junto con un intercambio catiónico entre 26 y 28 meq/100g, señala un suelo capaz de retener agua y nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos. El pH del agua de 7.47 y su baja conductividad eléctrica (0.25 mS/cm) indican que el agua es apta para riego sin riesgo de salinización. Estos hallazgos resaltan que, si bien las características edáficas y de calidad del agua en la finca son adecuadas para el desarrollo agrícola, la gestión continua de algunos elementos específicos será clave para mantener la productividad sostenible del sistema.

Los volúmenes de agua mediante las metodologías del cenirrómetro y tensiómetros optimizaron el uso eficiente del recurso hídrico con un volumen de 1953.01 m³/ha y 2297.75 m³/ha respectivamente. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que el uso de sensores de humedad optimizará el uso eficiente del agua en la etapa vegetativa del cultivo de pitahaya en la parroquia Progreso.

Las estrategias de manejo del agua para riego agrícola en referencia a las problemáticas presentadas en la finca, son las capacitaciones de manejo de equipos de medición de humedad de suelo y de condiciones climáticas de interpretación de la evaporación del agua mediante el cenirrómetro para establecer programas e intervalos de riego para un uso eficiente del recurso hídrico en la finca Voluntad de Dios de la parroquia Progreso de la Provincia del Guayas. La implementación de un calendario de riego, ajustado a parámetros específicos como la evaporación diaria (por cada 3 mm de evaporación, un tiempo de riego de 20.91 minutos), permitió optimizar tanto la cantidad de agua como el tiempo necesario para satisfacer las necesidades del cultivo. Estas propuestas no solo contribuyen a la conservación del recurso hídrico, sino que también mejoran la sostenibilidad del cultivo al reducir costos operativos y garantizar un manejo agrícola eficiente y responsable.

6.2 Recomendaciones

Monitoreo continuo de parámetros físico, químicos de agua y suelo, seguido de las mediciones regulares de la conductividad eléctrica (C.E) tanto del suelo como del agua de riego para asegurarse de que los niveles de salinidad sigan siendo adecuados para el crecimiento del cultivo. La acumulación de sales puede afectar la absorción de nutrientes y la salud del cultivo. Es importante ajustar las prácticas de fertilización debido a que con un intercambio catiónico (CIC) de 26-28 meq/100g, se debe ajustar la cantidad y tipo de fertilizantes utilizados, teniendo en cuenta la capacidad del suelo para retener cationes, lo que optimiza la disponibilidad de nutrientes y minimiza el riesgo de lixiviación.

Seguimiento continuo de equipos de medición de suelo y clima, además de la implementación de sistemas automatizados de riego agrícola para optimizar el uso eficiente del agua

Capacitación al personal en la interpretación de datos obtenidos de los sensores de humedad (tensiómetros y cenirrómetro). Esto les permitirá ajustar los tiempos y volúmenes de riego basándose en las necesidades del suelo y el cultivo. La formación debe incluir conceptos básicos de programación de riego, manejo de equipos y uso eficiente del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C., Rodríguez, J., & Vargas, A. (2021). Optimization of irrigation scheduling in vineyards using ETc and soil moisture sensors. *Vineyard Irrigation Management*, 45(2), 112–125. doi: 10.1016/j.vinir.2020.08.012
- Arévalo, W. (2022). *Programación del riego y distribución equitativa del agua en la agricultura de la comunidad Azama–Unorinca, parroquia San Luis, cantón Otavalo* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del agua*. Registro Oficial Suplemento N° 305: <http://www.regulacionagua.gob.ec/>
- Bancayán, E. (2019). *Evaluación de láminas de riego y eficiencia en los sistemas, utilizando sensores de humedad y modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz en la localidad de Mallares, Sullana, Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP-Institucional. <https://repositorio.unp.edu.pe/>
- Beretta, A., Bassahun, D., Musselli, R. y Torres, D. (2015). Medición de pH del suelo con papel reactivo. *Agrociencia Uruguay*. 19(2), 68-74. www.scielo.edu.uy/
- Bermeo, L. (2020). *Diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (Coffea canephora) en el campus La María* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/>
- Bustamante, S. (2021). La escasez del recurso hídrico en el mundo, una amenaza latente para el futuro humano. *Boletín Semillas Ambientales*, 15(1). revistas.udistrital.edu.co:8080/index.php/bsa/article/view/18898
- Caicedo, L. C., Méndez, F. de J., Gutiérrez Zeferino, E., y Flores Cuautle, J. de J. A. (2021). Medición de humedad en suelos, revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 1–8. doi: 10.29057/icbi.v9i17.7035
- Camacho, J. H., Forero, N. M., Ramírez, L., y Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopia de infrarrojo cercano en un oxisol de

- Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5–18. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01
- Carrow, R. N., DaCosta, M., & Huang, B. (2019). Water conservation in turfgrass with soil moisture sensors and ET-based controllers. *Crop Science*, 58(4), 1225–1235. doi: 10.2135/cropsci2019.04.0158
- Casadesús, J., Mata, M., & Martínez-Fernández, J. (2019). Using soil moisture sensors for automated irrigation scheduling in a plum crop. *Agricultural Water Management*, 218, 283–290. doi: 10.1016/j.agwat.2019.03.013
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). [Art. 306, 409, 410, 411], p.449) Registro Oficial Suplemento 449 de 20 de octubre del 2008. <https://www.asambleanacional.gob.ec/>
- Enciso, J., Porter, D., y Périès, X. (2007). Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. *University of Texas System, Austin, TX*
- Fontanet, M., Fernández García, D., Rodrigo, G., y Ferrer, F. (2019). Simulación de estrategias de programación del riego y el efecto de las propiedades hidráulicas sobre el balance de agua y el rendimiento del cultivo. *Estudios en la zona no saturada, XIV*, 30-36. zonanosaturada.com/wp-content/u-03
- Goldhamer, D., Fereres, E., Mata, M., & Girona, J. (2020). Evaluation of irrigation scheduling strategies using soil moisture sensors in almond orchards. *Irrigation Science*, 38(3), 407–417. doi: 10.1007/s00271-019-00668-y
- Herrera, E., Guzmán, S. M., Murcia, E., y Palacios, D. (2023). Preguntas comunes cuando se usan sensores de humedad en el suelo para cítricos y otros árboles frutales. *EDIS*, 2023(1). edis.ifas.ufl.edu
- Joya, A. (2022). *Manejo del riego deficitario controlado en el proceso de producción de semilla híbrida de pimiento (Capsicum annuum L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorios Latinoamericanos. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5462>
- Kisekka, I., & Hutmacher, R. (2022). Automated soil moisture monitoring for efficient irrigation scheduling. *Agricultural Systems*, 154, 100–110. doi: 10.1016/j.agsy.2022.103070
- Laverde, J. A., y Laverde, C. G. (2021). Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(2). doi: 10.46377/DILEMAS.V8I2.2542

- Lincoln Zotarelli, Michael D. Dukes, y Kelly T. Morgan. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *EDIS*, 2013(2). edis.ifas.ufl.edu/ae049
- Monge, J. E., y Loría, M. (2023). Comparación en altura de planta y producción de brotes entre dos variedades de pitahaya (*Hylocereus spp.*). *Revista Tecnología En Marcha*, 36(3), 13-23. doi: 10.18845/tm.v36i3.6105
- Montesinos, J., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruíz, G., y Guevara, F. (2015). Cultivos Tropicales Pitahaya (*Hylocereus spp.*) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 69–70. redalyc.org/articulo.oa?id=193243640007
- Moreno, R. (2023). *Optimización del riego mediante el uso de sensores de humedad del suelo en un cultivo de naranjos en el Campo de Cartagena* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Digital UPCT. <https://repositorio.upct.es/>
- Ortiz, A. N., y Larios, R. C. (2020). Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión. *La Calera*, 20(35), 81–87. doi: doi.org/10.5377/calera.v20i35.10302
- Ortiz, Y. D., y Carrillo, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220-237. www.ufpi.br/comunicata
- Osuna Ceja, E. S., Figueroa Sandoval, B., Oleschko, K., Flores Delgadillo, M. D. L., Martínez Menes, M. R., y González Cossío, F. V. (2004). Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia*, 40(1), 27-30. scielo.org.mx/scielo.php?script
- Otero, Á., Montoya, F., y García, C. (2017). *Programación del riego*. ainfo.inia.uy/consulta/
- Quichimbo, P., Guamán, J., Cajamarca, M., y Aguirre, A. (2016). Evaluación del contenido de humedad del suelo por gravimetría y reflectometría. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 4(1). doi: 10.36331/revista.v4i1.25
- Sánchez, L., y Acosta, A. (2023). Optimización del consumo de agua agrícola en Lima: Buenas prácticas y métodos de riego eficientes. *Revista Alfa*, 7(20), 464–473. doi: 10.33996/revistaalfa.v7i20.229
- Servín Palestina, M., Casas Flores, I., Ramírez Valle, O., y Chávez Sánchez, N. (2018). Técnicas para estimar y monitorear la demanda de agua en los cultivos.

Libro técnico No. 17. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 341 páginas.

Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad de agua: evaluación y diagnóstico*. books.google.es/bo

Soriano Soto, M. D. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*. Recuperado de: riunet.upv.es/handle/10251/105110

Verona A., Urcia, J., y Paucar, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. doi: 10.17268/SCI.AGROPECU.2020.03.16

Figura 3.

Medición de la zona radicular



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 4.

Evaluación del sistema de riego



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 5.

Medición del caudal



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 6.

Toma de datos del suelo



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 7.

Calibración de los tensiómetros



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 8.

Instalación de los tensiómetros



Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 9.

Tensi6metros ubicados

Elaborado por: La Autora, 2024

Figura 10.

An6lisis estad6stico

Prueba T para muestras Independientes			
Variable:Volumen de agua m ³ /ha - Clasific:Tratamiento - prueba:Bilateral			
	Grupo 1		Grupo 2
	T1	T2	
n		14	14
Media	164.13		139.50
Varianza	562.04		16.97
Media (1) -Media (2)	24.62		
LI (95)	10.73		
LS (95)	38.52		
pHomVar	<0.0001		
T	3.83		
gl		13	
p-valor	0.0021		

Elaborado por: La Autora, 2024