



**Uleam**  
UNIVERSIDAD LAICA  
ELOY ALFARO DE MANABÍ

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ  
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TÍTULO:**

“ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL SUELO CON UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE LA PITAHAYA.”

**AUTORES:**

PÉREZ OJEDA OLIVER LEONARDO  
PEREZ OJEDA OVERLI MIKAEL

**TUTOR**

Ing. RAMÓN PEREZ LEIRA, PhD.

**MANTA-MANABÍ-ECUADOR**

**2024**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

### CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de OLIVER LEONARDO PÉREZ OJEDA y OVERLI MIKAEL PEREZ OJEDA, legalmente matriculados en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2019(2)-2024(2), cumpliendo el total de 192 horas, cuyo tema del proyecto "ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL SUELO CON UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE LA PITAHAYA."

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 18 de diciembre de 2024.

Lo certifico,

  
Ing. Ramón Pérez Leira, PhD.  
Docente Tutor  
Área: Hidráulica

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

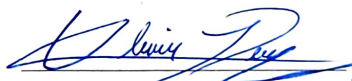
OVERLI MIKAEL PEREZ OJEDA y OLIVER LEONARDO PEREZ OJEDA, Egresados de la Facultad de ingeniería, industria y arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí

DECLARAMOS QUE:

El desarrollo de la Tesis "ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL SUELO CON UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE LA PITAHAYA.", es de nuestra autoría, en la que se han respetado los principios de autenticidad en el uso de la bibliografía consultada, aplicando normas y principios de investigación que para este fin tiene aprobado la Universidad y la Facultad.

Las conclusiones y recomendaciones que se plasman en este documento investigativo son de mi exclusividad responsabilidad.

  
OVERLI MIKAEL PEREZ OJEDA

  
OLIVER LEONARDO PEREZ OJEDA

MANTA 21 de febrero del 2025.

## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACION

### UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: "ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DE RIEGO EN EL SUELO CON UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE LA PITAHAYA." elaborado por los egresados: PÉREZ OJEDA OVERLI MIKAEL Y PÉREZ OJEDA OLIVER LEONARDO de la Carrera de Ingeniería Civil.

### INGENIERA CIVIL

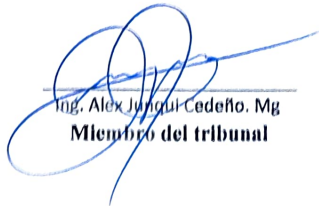
Aprobado por el Tribunal Examinador



Dr. Eric Cabrera Estupifán.  
Miembro del tribunal



Ing. Geovanny Delgado Castro. Mg  
Miembro del tribunal



Ing. Alex Jungui Cedeno. Mg  
Miembro del tribunal



## DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado, guiándome en cada paso. Todo lo que soy y lo que he logrado es un reflejo de todo lo que he aprendido de ustedes.

A mi hermano, mi compañero de vida, quien ha estado a mi lado en cada paso de este trayecto. Eres mi inspiración constante, con quien comparto aprendizajes, risas y momentos inolvidables, siempre con la certeza de que puedo contar contigo.

A mi pareja, por ser mi refugio en los momentos difíciles y la calma que me impulsa a seguir adelante. Gracias por tu apoyo incondicional, por recordarme la importancia de disfrutar los pequeños momentos y por llenar mi vida de felicidad con tu amor y compañía.

A mis mascotas, que son parte de mi familia y me brindan una alegría constante. En especial a Kity, quien llegó al inicio de esta etapa y ha estado a mi lado, acompañándome en cada paso del camino.

Con Cariño.

Overli Mikael Pérez Ojeda.

## DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la perseverancia y sabiduría para vencer todas las pruebas durante este proceso.

A mis padres Sandro Pérez Ortiz y Karina Ojeda Loja dedicado de todo corazón, por ser los pilares en mi vida los que siempre me han brindado su apoyo, fe y amor incondicional a lo largo de mi vida. Sin su constante apoyo este logro no sería posible, gracias por siempre motivarme a ser mejor día a día, los amo.

A mi hermano Mikael Pérez por ser mi amigo, compañero y coautor de esta tesis. Gracias por tu apoyo y cariño.

A mi novia Francis Guamaní Estrada por su compañía, apoyo y amor. Gracias por ser la persona que escuchaba mis preocupaciones y me daba ánimos durante esta etapa. Te amo.

A mis demás familiares, mis amistades y personas importantes que confiaron en mí, que me brindaron su aprecio y lealtad en los momentos que lo necesite.

A cada uno de mis profesores que contribuyeron en mi formación como persona y profesional.

Con cariño.

Oliver Leonardo Pérez Ojeda.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestra más profunda gratitud a **Dios**, por darnos la vida, salud y fortaleza para enfrentar los desafíos de este proceso. Su guía ha sido esencial para llegar hasta este logro.

A nuestros **padres**, por su apoyo incondicional, amor y motivación constante. Gracias por ser el pilar de nuestros esfuerzos y por brindarnos las herramientas necesarias para alcanzar nuestras metas académicas y personales. Su confianza en nosotros ha sido una fuente de inspiración en cada paso de este camino.

A **nuestro tutor, Dr. Ramón Pérez Leira**, por su valiosa orientación, paciencia y comprensión. Su experiencia y compromiso con nuestra investigación nos permitieron superar cada desafío, y sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

A **Dr. Esteban Chirino Miranda**, por facilitarnos el equipamiento necesario para realizar la investigación.

A **Ing. Gustavo Cevallos Lucas**, por permitirnos acceder a la zona de estudio y por brindarnos su colaboración en todo el proceso de recolección de datos.

A los **ingenieros y profesores de nuestra facultad**, por su constante apoyo académico y por compartir su conocimiento, que enriqueció enormemente nuestra formación académica.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que de alguna manera contribuyeron al éxito de esta investigación. Este logro es el resultado del esfuerzo conjunto de todos ustedes.

## RESUMEN

En Manabí, la problemática de la falta de recursos hídricos para el riego es un mal que trasciende a los años por lo cual la gran mayoría de agricultores de las zonas más deprimidas económicamente solo siembran una vez al año con el inicio de la época lluviosa, condenando con ello, sus cultivos y su inversión a las bondades de la naturaleza. El objetivo principal de la investigación fue determinar la distribución de la dosis de riego en el suelo mediante un sistema de microaspersión en una parcela cultivada de Pitahaya Roja, ubicado en el sector de Las Papayas, Cantón Rocafuerte.

Se determinó la capacidad de campo del suelo mediante el método de la Plazoleta de Inundación, obteniendo un promedio del 42.96% de suelo seco en el estrato superficial de 10 cm. Este valor coincidió con el 45% de humedad volumétrica medida con una sonda DELTA-T HH2. Usando el programa CROPWAT, se estimó un intervalo de riego promedio anual de 3.7 días, con variaciones entre 9.3 días en febrero y 2.7 días en noviembre. Las mediciones de humedad confirmaron la necesidad de ajustar el riego a partir del cuarto día según la época y las precipitaciones. La evaluación del sistema de microaspersión mostró un caudal promedio de 42.7 l/h y un coeficiente de uniformidad de 75.9%. La acumulación de sedimentos al final de los laterales destacó como el principal problema, recomendándose aumentar la frecuencia de mantenimiento y limpieza del sistema para mejorar su eficiencia.

**Palabras Clave:** Irrigación, uniformidad, agua, suelo, rendimiento.

## ABSTRACT

In Manabí, the issue of water scarcity for irrigation has persisted for years, forcing most farmers in economically disadvantaged areas to plant only once a year during the rainy season. This reliance on natural conditions jeopardizes their crops and investments. The main objective of this research was to determine the distribution of irrigation doses in the soil using a micro-sprinkler system on a plot cultivated with red pitahaya in the Las Papayas sector, Rocafuerte Canton.

The soil's field capacity was determined using the Flooding Plot method, yielding an average of 42.96% dry soil in the 10 cm surface layer. This value aligned with the 45% volumetric moisture measured with a DELTA-T HH2 probe. Using the CROPWAT program, the average annual irrigation interval was estimated at 3.7 days, ranging from 9.3 days in February to 2.7 days in November. Moisture measurements confirmed the need to adjust irrigation starting on the fourth day based on the season and precipitation. The micro-sprinkler system evaluation showed an average flow rate of 42.7 l/h and a uniformity coefficient of 75.9%. Sediment accumulation at the lateral ends emerged as the main issue, highlighting the need to increase maintenance frequency and clean the filtration system to improve efficiency.

**Keywords:** Irrigation, uniformity, water, soil, yield.

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	2
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	3
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TÍTULACION .....	4
DEDICATORIA .....	5
DEDICATORIA .....	6
AGRADECIMIENTOS .....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT.....	9
TABLA DE CONTENIDO.....	10
ÍNDICE DE TABLAS .....	15
ÍNDICE DE FIGURAS.....	16
INTRODUCCION .....	18
Justificación.....	21
Relevancia y Novedad de la Investigación.....	21
Problema de Investigación.....	21
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos.....	22

Objeto de Investigación.....	22
Campo de Acción.....	22
Variables.....	22
Variables Cuantitativas.....	22
Variables Cualitativas.....	24
Variables Independientes.....	24
Variables Dependientes.....	24
Variables Intervinientes.....	25
Hipótesis de la Investigación.....	25
Métodos de Investigación.....	25
Métodos Teóricos.....	25
Métodos Empíricos.....	26
Tareas de Investigación.....	26
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO .....	27
1.1. El cultivo de la Pitahaya.....	27
1.1.1. Características Generales del Cultivo.....	27
1.1.2. Requerimientos de Agua del Cultivo.....	29
1.1.3. Importancia del Riego en el Cultivo de la Pitahaya.....	30

1.1.4.	Factores que Afectan la Eficiencia del Uso del Agua en la Pitahaya.....	31
1.1.5.	Sostenibilidad y Gestión del Agua en la Agricultura.....	31
1.2.	Riego.....	32
1.2.1.	Importancia del Riego Localizado en el Ahorro del Agua.....	32
1.2.2.	Componentes de un Sistema de Riego Localizado.....	33
1.2.3.	Técnicas de Riego Localizado.....	34
1.2.4.	Fundamentos de la Microaspersión.....	34
1.2.5.	Definición de Eficiencia en Sistemas de Riego.....	37
1.2.6.	Típos de eficiencia en el sistema de riego localizado.....	38
1.2.7.	Eficiencia de Aplicación.....	39
1.3.	Uniformidad de Riego Localizado.....	41
1.3.1.	Definición de uniformidad en sistemas de riego.....	41
1.3.2.	Típos de uniformidad.....	41
1.3.3.	Distribución de la Dosis de Riego en el Suelo.....	42
1.3.4.	Distribución del Agua en el Suelo: Infiltración y Redistribución.....	42
1.4.	Procedimiento de evaluación de Sistema de Riego Localizado.....	43
1.4.1.	Parámetros para Evaluar la Eficiencia de Aplicación.....	43
1.4.2.	Métodos de Medición: Uso de Probetas y Cronómetros.....	44



1.4.3.	Cálculo del Coeficiente de Uniformidad (ISO 15996:2006).....	45
1.5.	Factores que afectan la uniformidad y la eficiencia.....	45
1.5.1.	Factores que Afectan la Uniformidad del Riego.....	45
1.5.2.	Problemas Comunes que Afectan la Eficiencia.....	46
1.6.	Estrategias de mejora para el Riego Localizado.....	47
1.6.1.	Estrategias para Mejorar la Eficiencia de Aplicación.....	47
1.6.2.	Estrategias para Mejorar la Uniformidad del Riego.....	48
CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO.....		50
Localización del Área de Estudio.....		50
2.1	Capacidad de Campo.....	51
2.1.1	Humedad Volumétrica.....	51
2.1.2	Humedad Gravimétrica.....	51
2.2	Evaluación del Sistema de Riego.....	55
Estudio de la Distribución de Agua en el Suelo.....		59
Análisis de factores que afectan al sistema de riego.....		61
CAPITULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		64
Comportamiento de la Capacidad de Campo del suelo.....		64
Evaluación de la Eficiencia de la distribución del Agua por el sistema de Riego...		66

Evaluación de la Distribución del agua en el Suelo.....	68
3.1.1 Análisis comparativo entre el volumen de agua aplicado por el riego y su aporte a la humedad del suelo.....	72
Factores que afectan la Uniformidad del Sistema de Riego.....	73
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	77
ANEXOS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características generales del cultivo de la Pitahaya .....	27
<b>Tabla 2.</b> Características del sistema de riego por microaspersión en los cultivos .....	36
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la Capacidad de Campo .....	64
<b>Tabla 4.</b> Promedio de caudales. ....	66
<b>Tabla 5.</b> Categoría de Coeficientes de Uniformidad.....	67
<b>Tabla 6.</b> Caudal de emisores .....	67
<b>Tabla 7.</b> Análisis comparativo entre el volumen de agua aplicado por el riego y su aporte a la humedad del suelo.....	72
<b>Tabla 8.</b> <i>Procesamiento de Datos para Capacidad de Campo</i> .....	88
<b>Tabla 9.</b> <i>Datos para análisis de Uniformidad de Caudal</i> .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Requerimientos edafoclimáticos .....	30
<b>Figura 2.</b> <i>Microaspersor</i> .....	33
<b>Figura 3.</b> Sistema de Microaspersión cultivo de Pitahaya .....	35
<b>Figura 4.</b> Probetas .....	44
<b>Figura 5.</b> <i>Ubicación Macro localización</i> .....	50
<b>Figura 6.</b> <i>Ubicación Micro localización</i> .....	50
<b>Figura 7.</b> <i>Zona de Estudio</i> .....	52
<b>Figura 8.</b> Primer Punto de perforación.....	53
<b>Figura 9.</b> <i>Segundo Punto de perforación</i> .....	54
<b>Figura 10.</b> <i>Muestras en el horno</i> .....	54
<b>Figura 11.</b> <i>Pesado de las muestras secas</i> .....	55
<b>Figura 12.</b> <i>Sector de riego</i> .....	56
<b>Figura 13.</b> <i>Esquema de laterales</i> .....	56
<b>Figura 14.</b> <i>Puntos de observación del Caudal</i> .....	57
<b>Figura 15.</b> <i>Medición de Caudal</i> .....	58
<b>Figura 16.</b> <i>Ubicación de las 5 plantas para el estudio de humedad superficial</i> .....	59
<b>Figura 17.</b> Puntos de medición .....	60
<b>Figura 18.</b> <i>Toma de observaciones de Humedad</i> .....	60
<b>Figura 19.</b> <i>Sonda electromagnética DELTA-T HH2</i> .....	61
<b>Figura 20.</b> <i>Recorrido de los laterales de riego</i> .....	62

<b>Figura 21.</b> <i>Sistema de microaspersión en funcionamiento</i> .....	62
<b>Figura 22.</b> <i>Cabezal de riego localizado</i> .....	63
<b>Figura 23.</b> <i>Capacidad de campo del suelo</i> .....	65
<b>Figura 24.</b> <i>Humedad Volumétrica del Suelo en cinco plantas 1 hora después del Riego</i> 68	
<b>Figura 25.</b> <i>Humedad volumétrica del suelo 72 horas después de la aplicación del riego</i> .....	70
<b>Figura 26.</b> <i>Humedad volumétrica del suelo 7 días después de la aplicación del riego...</i>	71
<b>Figura 27.</b> <i>Laterales de riego inconclusos</i> .....	73
<b>Figura 28.</b> <i>Suciedad en el drenaje de laterales</i> .....	74
<b>Figura 32.</b> <i>Anotación de los pesos de las muestras húmedas</i> .....	81
<b>Figura 34.</b> <i>Pesado de muestras secas</i> .....	82
<b>Figura 41.</b> <i>Observación del tercer punto a 50cm humedad superficial</i> .....	86
<b>Figura 42.</b> <i>Recorrido de los laterales de riego</i> .....	86
<b>Figura 43.</b> <i>Micro aspersor en funcionamiento</i> .....	87

## INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales de mayor importancia y limitante para el ser humano, indispensable para la producción de alimentos, desarrollo social y económico a nivel mundial. La agricultura utiliza el 70% del agua extraída a nivel mundial, principalmente debido a las altas tasas de evapotranspiración de los cultivos. Por ello, es fundamental optimizar el uso del recurso hídrico y las fuentes de energía disponibles para enfrentar la escasez de agua en zonas agrícolas y satisfacer la creciente demanda de alimentos, impulsada por desafíos globales como el cambio climático y el aumento de la población mundial. (FAO,2002; Medrano *et al.*, 2007; Ríos *et al.*, 2016).

El uso intensivo del agua ha generado conflictos a nivel global y externalidades negativas para el ecosistema e impactos negativos en los recursos. Uno de los mayores desafíos en el mundo es la sustentabilidad de los recursos hídricos debido al inexorable aumento en la demanda de consumo para satisfacer las necesidades de las personas; de acuerdo con Novoa *et al.* (2016) a nivel mundial el 70% del agua dulce es destinada para el uso agrícola, el 22% para uso industrial y un 8% para uso domésticos.

De acuerdo con lo expuesto por Jiménez (2017) Ecuador cuenta con un volumen total de recursos hídricos de aproximadamente 375 km<sup>3</sup>. Hace una década, el consumo de agua en Ecuador fue de 15,80 km<sup>3</sup>, donde el sector agrícola ocupa un volumen de 13,05 km<sup>3</sup> que viene siendo un 82,6% del uso para el riego. Según la información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022), entre las provincias del país con unidades agrícolas de mayor superficie, se



encuentran Manabí con 15,8%, Guayas con 11,2%, Loja con 7,6%, Los Ríos con 7,3% y Esmeraldas con 7,1%, etc. (Palacios, 2019).

Manabí, sufre déficit de balance hídrico por largos periodos en el año superior a 1000 mm y puede disminuir progresivamente hasta desaparecer en la zona húmeda tropical (Duque, 2018). Los cantones como Rocafuerte, Portoviejo, Manta, Jaramijó, Montecristi, San Vicente, Sucre y Puerto López son considerados zonas de amenaza por la sequía, convirtiéndose en un problema para el sector agrícola (Cantos, 2018), lo cual conlleva a abastecerse de las cuencas principales que se encuentran en las zonas altas de la región e implica gastos económicos muy elevados.

Ante este escenario se vuelve imperativo realizar estudios que permitan llevar a cabo soluciones que brinden un mejor manejo y uso eficiente del agua en el campo. Ecuador es un país agrícola donde más de un tercio de su superficie tiene un clima semi-árido y cerca del 30% del área de superficie total cultivada (1.850.000 ha) tiene que ser irrigada debido a la escasez de lluvia, por lo que, del total de la superficie regada, el 81% (460.000 ha) se encuentran bajo riego particular y el 19% se riega con sistemas públicos (12.000 ha) (Pacheco y Calvache, 2006).

La presente investigación se basará a un estudio de la pitahaya roja perteneciente esta planta a la familia *Cactaceae* que contiene diversas especies con valor económico, cultural y ecológico, que pueden ayudar a mitigar los impactos del cambio climático, por sus mecanismos de adaptación nivel morfológico y fisiológico. Sin embargo, se requieren esfuerzos para un aprovechamiento sustentable, conservación e investigación sobre los factores que caracterizan sus nichos de crecimiento en este tipo de recursos (Ranjan *et al.*, 2016; Hultine *et al.*, 2016).

En los últimos años, las exportaciones de pitahaya roja desde Ecuador han mostrado un crecimiento significativo, consolidándose como un producto agrícola de gran valor. En este contexto, la provincia de Manabí se posiciona como la tercera mayor productora de pitahaya roja en el país, con una producción anual que supera las 820 toneladas, solo superada por Morona Santiago y Guayas. Esta fruta ha llegado a representar una importante fuente de ingresos para la región.

La pitahaya o también conocida como fruta del dragón pertenece, según su clasificación taxonómica, a la familia Cactaceae, género *Hylocereus*, especie *H. undatus*, *H. mengalanthus*. Es una fruta exótica de forma ovalada que presenta protuberancias con espinas o brácteas en su cáscara similares a la tuna. Es conocida a nivel mundial con cultivos presentes en el continente asiático y americano específicamente en los países como México, Nicaragua, Guatemala, Costa Rica, Ecuador y Colombia.

A pesar del creciente interés en la pitahaya y su potencial exportador, existen pocos estudios técnicos que aborden temas cruciales como el manejo eficiente del riego, esencial para maximizar los rendimientos del cultivo.

Este trabajo se desarrolla como parte del proyecto de investigación "Diagnóstico y Mejoramiento de la Eficiencia de Uso del Agua en los Sistemas de Riego" de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), iniciado en 2022.

contexto, la provincia de Manabí se posiciona como la tercera mayor productora de pitahaya roja en el país, con una producción anual que supera las 820 toneladas, solo superada por Morona Santiago y Guayas. Esta fruta ha llegado a representar una importante fuente de ingresos para la



### **Justificación**

La eficiencia en el uso del agua es un tema crítico en la gestión de recursos hídricos, especialmente en regiones con limitaciones hídricas. Estudios previos han demostrado que el riego localizado puede mejorar la eficiencia del uso del agua y aumentar la productividad de los cultivos (Enciso et al., 2007; Phogat et al., 2013). Sin embargo, la distribución de la dosis de riego en el suelo, especialmente en cultivos de pitahaya, no ha sido suficientemente estudiada.

### **Relevancia y Novedad de la Investigación**

El riego eficiente es fundamental para la agricultura sostenible. La pitahaya, un cultivo de creciente importancia económica, requiere una gestión adecuada del riego para maximizar su producción y calidad.

La propuesta de investigación busca llenar este vacío de conocimiento mediante la determinación de la distribución de la dosis de riego en el suelo. Este conocimiento permitirá optimizar el diseño y la operación de los sistemas de riego localizado, conduciendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico.

### **Problema de Investigación**

Se desconoce la Distribución de la Dosis de Riego en el suelo con un sistema de Riego Localizado en el cultivo de la Pitahaya.

## **Objetivo General**

Determinar la Distribución de la Dosis de Riego en el suelo con un sistema de Riego Localizado en el cultivo de la Pitahaya.

## **Objetivos Específicos**

- Determinar la capacidad de retención de agua del suelo en el área de investigación para establecer parámetros precisos de riego.
- Identificar los factores que afectan la uniformidad en la distribución del agua en el sistema de riego localizado.
- Evaluar la eficiencia de distribución del agua en el suelo con un sistema de riego localizado en el cultivo de pitahaya en la zona de estudio.
- Desarrollar recomendaciones para mejorar la eficiencia de riego en el cultivo de pitahaya, considerando los resultados de la distribución de agua en el suelo.

## **Objeto de Investigación**

Dosis de Riego en el Suelo.

## **Campo de Acción**

Riego de los Cultivos.

## **Variables**

### **Variables Cuantitativas**

#### **1. Dosis de Riego Aplicada:**

- **Tipo:** Continua

- **Descripción:** Cantidad de agua aplicada al suelo mediante el sistema de riego localizado, medida en litros por unidad de tiempo.

## **2. Humedad del Suelo:**

- **Tipo:** Continua
- **Descripción:** Nivel de humedad en el suelo antes y después del riego, medida en porcentaje.

## **3. Capacidad de Campo del Suelo:**

- **Tipo:** Continua
- **Descripción:** Capacidad del suelo para retener agua después del riego, medida en porcentaje de humedad.

## **4. Distribución Espacial del Agua:**

- **Tipo:** Continua
- **Descripción:** Distribución del agua en el suelo en diferentes puntos de medición, medida en porcentaje de humedad o en litros.

## **5. Producción de Pitahaya:**

- **Tipo:** Continua
- **Descripción:** Cantidad de pitahayas producidas por planta, medida en kilogramos.

## **Variables Cualitativas**

### **1. Tipo de Suelo:**

- **Tipo:** Politémica
- **Descripción:** Clasificación del suelo en función de su textura y estructura, por ejemplo, arenoso, arcilloso, franco, etc.

### **2. Estado Fenológico de la Pitahaya:**

- **Tipo:** Politémica
- **Descripción:** Fase de desarrollo del cultivo de pitahaya, por ejemplo, vegetativa, floración, fructificación.

## **Variables Independientes**

### **1. Dosis de Riego Aplicada:**

- **Descripción:** La cantidad de agua aplicada al suelo durante el riego.

### **2. Tipo de Suelo:**

- **Descripción:** La clasificación del suelo en función de su textura y estructura.

## **Variables Dependientes**

### **1. Humedad del Suelo:**

- **Descripción:** El nivel de humedad del suelo que se alcanza después de aplicar el riego.

### **2. Producción de Pitahaya:**

- **Descripción:** La cantidad de pitahayas producidas en función de la dosis de riego y las características del suelo.

### **Variables Intervinientes**

#### **1. Estado Fenológico de la Pitahaya:**

- **Descripción:** La fase de desarrollo de la pitahaya puede influir en la absorción de agua y, por lo tanto, en la eficiencia del riego

### **Hipótesis de la Investigación**

El conocimiento de la distribución de la Dosis de Riego en el suelo con un sistema de Riego Localizado en el cultivo de la Pitahaya permite una gestión más eficiente del riego y del uso del agua.

### **Métodos de Investigación**

#### **Métodos Teóricos**

##### **Análisis – Síntesis:**

Se descompondrán las diferentes variables y componentes del sistema de riego y el suelo para analizarlas por separado, y luego se integrarán estos componentes para entender las relaciones entre ellos.

##### **Inducción – Deducción:**

A partir de observaciones específicas y mediciones, se formularán generalizaciones y se establecerán hipótesis sobre la eficiencia del riego. Luego, estas hipótesis se verificarán mediante experimentos específicos.

### **Métodos Empíricos**

Medición:

Se utilizarán sensores de humedad para medir el contenido de agua en el suelo antes y después del riego.

### **Tareas de Investigación**

1. Examinar la experiencia Nacional e Internacional relacionada con la Distribución del agua de un sistema de Riego Localizado.
2. Determinar la capacidad de campo del suelo en la zona de estudio.
3. Determinar la Distribución de la Dosis de riego en el suelo para diferentes momentos del riego en el cultivo de la Pitahaya.
4. Elaborar propuesta de mejora de la eficiencia del riego a partir de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1. El cultivo de la Pitahaya

#### 1.1.1. Características Generales del Cultivo

De acuerdo con Solís et al. (2022) el cultivo de la pitahaya roja se presenta como una alternativa rentable y con potencial de exportación, especialmente hacia mercados como la Unión Europea. A pesar de requerir una inversión inicial considerable, este cultivo ofrece un alto rendimiento económico a mediano plazo, superando a otros cultivos tradicionales que se ven afectados por plagas. Su éxito radica en factores como las condiciones climáticas favorables y las características del fruto, que lo hacen atractivo para el mercado internacional.

En la siguiente tabla 1 se determinan las características generales del cultivo de la Pitahaya:

**Tabla 1.** *Características generales del cultivo de la Pitahaya*

Característica	Descripción
<b>Nombre científico</b>	Hylocereus spp.
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Origen</b>	América Central y del Sur
<b>Clima</b>	Tropical y subtropical
<b>Propagación</b>	Semillas o esquejes
<b>Suelo</b>	Bien drenado
<b>Riego</b>	Moderado, tolerante a la sequía
<b>Luz</b>	Alta luminosidad



<b>Temperatura</b>	Óptima entre 20-30°C
<b>Plagas y enfermedades</b>	Antracnosis, pudrición negra, virus
<b>Cosecha</b>	Varios meses después de la floración
<b>Propiedades</b>	Alto valor nutricional, rica en antioxidantes y fibra

**Fuente.** Obtenido de (Verona et al., 2020).

De acuerdo con Verona et al. (2020) si bien la pitahaya, al ser una cactácea, posee mecanismos de adaptación a la sequía como el metabolismo ácido crasuláceo (CAM) que le permite un uso eficiente del agua, esto no significa que no la necesite para su desarrollo. Un riego adecuado es fundamental para obtener un buen rendimiento en la producción de pitahaya, por lo tanto, se deben tener en cuenta ciertos aspectos como:

- **Etapas críticas:** El riego es especialmente importante durante las etapas de crecimiento inicial, floración y desarrollo del fruto. La falta de agua en estas etapas puede afectar negativamente el tamaño, la calidad y la cantidad de frutos producidos.
- **Calidad del agua:** Es importante utilizar agua de buena calidad, libre de sales y contaminantes que puedan afectar el desarrollo de la planta.
- **Sistema de riego:** Se pueden utilizar diferentes sistemas de riego, como goteo o microaspersión, para asegurar una distribución eficiente del agua.
- **Drenaje:** Es fundamental que el suelo tenga un buen drenaje para evitar el encharcamiento, que puede provocar la pudrición de las raíces.



### **1.1.2. Requerimientos de Agua del Cultivo**

Según Yadav et al. (2023) la pitahaya, siendo una planta cactácea, tiene necesidades hídricas relativamente bajas, requiriendo un rango de precipitación anual de 500 a 1500 mm con periodos secos y húmedos alternados. Aunque tolera la sequía, el riego es crucial para un crecimiento óptimo, especialmente en la etapa inicial y cuando la lluvia es escasa. Un exceso de agua puede ser perjudicial, causando la pudrición de la fruta y enfermedades, por lo que se recomienda un buen drenaje del suelo y evitar el encharcamiento.

El cultivo de la pitahaya se beneficia significativamente de un sistema de riego localizado que optimiza la distribución del agua en el suelo. Este sistema permite un control preciso de la cantidad de agua aplicada, evitando el desperdicio y asegurando que la planta reciba la humedad necesaria en cada etapa de su desarrollo. Esto se traduce en un mayor rendimiento de producción, ya que la pitahaya, al ser una planta cactácea, es susceptible tanto al exceso como a la falta de agua. Un riego adecuado favorece el crecimiento vegetativo, la floración, el desarrollo de los frutos y la calidad de la pulpa, contribuyendo a una mayor productividad del cultivo (Verona et al., 2020).

A continuación se presenta en la figura 1 los requerimientos edafoclimáticos de la Pitahaya:

Figura 1. *Requerimientos edafoclimáticos*



Fuente. Obtenido de Agro Krebs (2024).

<https://www.facebook.com/photo/?fbid=1233147820503001&set=a.565875290563594>

### 1.1.3. Importancia del Riego en el Cultivo de la Pitahaya

El riego en el cultivo de la pitahaya es crucial para su desarrollo y producción óptimos. Un monitoreo constante de la humedad del suelo permite evitar el estrés hídrico, previniendo enfermedades y asegurando un crecimiento saludable de la planta. Sondos de humedad, como las resistivas o dieléctricas, juegan un papel fundamental en este proceso al proporcionar información precisa sobre el contenido de agua en el suelo. Esta información facilita la toma de decisiones en cuanto a la frecuencia e intensidad del riego, optimizando el uso del agua y maximizando la producción de la pitahaya (Quiroz, 2022).

#### **1.1.4. Factores que Afectan la Eficiencia del Uso del Agua en la Pitahaya**

Diversos factores influyen en la eficiencia del uso del agua en el cultivo de pitahaya. En el estudio de Velásquez (2020), se analizaron algunos de estos factores, como el método de riego, el nivel de sombra y el tamaño del esqueje. Los resultados mostraron que las cápsulas porosas tuvieron un mayor efecto en las láminas de riego consumidas, lo que sugiere una mayor eficiencia en comparación con el riego por succión. Además, el nivel de sombra del 25% favoreció la producción de materia seca, lo que indica que la sombra puede influir en la eficiencia del uso del agua al reducir la evapotranspiración factores que no se consideraron en el estudio pero que también pueden afectar la eficiencia del uso del agua incluyen el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la etapa de crecimiento del cultivo y las prácticas de manejo agronómico. (Jimenez, 2019)

#### **1.1.5. Sostenibilidad y Gestión del Agua en la Agricultura**

La sostenibilidad en la agricultura implica el uso responsable de los recursos naturales, incluyendo el agua, para garantizar la producción de alimentos a largo plazo sin comprometer el medio ambiente. La gestión eficiente del agua en la agricultura es fundamental para lograr la sostenibilidad. Esto implica la implementación de prácticas de riego eficientes, la conservación del agua en el suelo, la reutilización del agua y la selección de cultivos con bajas necesidades hídricas, como las cactáceas mencionadas en el estudio de (Velásquez, 2020). La pitahaya, con su alta tolerancia a la sequía, representa una alternativa sostenible para la producción agrícola en regiones áridas y semiáridas, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al aprovechamiento de recursos hídricos limitados.

## **1.2. Riego**

### **1.2.1. Importancia del Riego Localizado en el Ahorro del Agua**

El riego localizado, como el sistema de cápsulas porosas utilizado en el estudio de Velásquez (2020), juega un papel importante en el ahorro de agua en la agricultura. Este tipo de riego permite aplicar el agua de forma precisa y controlada directamente a la zona radicular de la planta, minimizando las pérdidas por evaporación y escorrentía. En el caso de la pitahaya, el uso de riego localizado puede ser especialmente beneficioso debido a su adaptación a condiciones de sequía y su capacidad para crecer en suelos con baja capacidad de retención de agua. Al reducir el consumo de agua, el riego localizado contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y a la conservación de este recurso esencial.

El riego localizado por microaspersión, como técnica de riego localizado que aplica agua en pequeñas gotas mediante aspersores de baja presión (microaspersores), juega un papel crucial en el ahorro de agua en cultivos como la pitahaya. Al aplicar el agua directamente a la zona radicular de las plantas, se reduce la pérdida de agua por evaporación y escorrentía, optimizando así el uso del recurso hídrico. Además, la microaspersión permite un control preciso de la cantidad de agua aplicada, evitando el desperdicio y asegurando que las plantas reciban la cantidad necesaria para su óptimo desarrollo. Esto se traduce en un ahorro significativo de agua, especialmente en comparación con métodos de riego tradicionales como el riego por inundación o aspersión (Lama, 2023).

### 1.2.2. Componentes de un Sistema de Riego Localizado

Teniendo en cuenta a Apaza y López (2017) los sistemas de riego localizado constan de los siguientes componentes esenciales:

- Una fuente de agua (como un reservorio)
- Una unidad de bombeo para presurizar el sistema
- Un cabezal de riego que incluye filtros para evitar obstrucciones en los emisores
- Una red de tuberías (principal, secundaria y terciaria) para distribuir el agua
- Finalmente, los emisores que entregan el agua directamente.

La eficiencia de estos sistemas depende del correcto funcionamiento y la uniformidad en la aplicación del agua a través de los emisores (Figura 2), lo que se evalúa mediante coeficientes de uniformidad de caudal y presión. Además, factores como la velocidad de infiltración del suelo y el diámetro de mojado influyen en la eficiencia del riego.

**Figura 2.** *Microaspersor*





### 1.2.3. Técnicas de Riego Localizado (microaspersión, goteo, subsuperficial)

De acuerdo con Barreiro y Cheme (2022) los sistemas de riego localizado son métodos de irrigación que aplican el agua de forma precisa y eficiente cerca de la zona radicular de las plantas, minimizando pérdidas por evaporación o escorrentía. Existen tres tipos principales:

- **Microaspersión:** Utiliza microaspersores con rotores que distribuyen el agua en forma de lluvia fina sobre un área pequeña y uniforme, ideal para huertos, plantas ornamentales y cultivos que requieren un control preciso de la humedad.
- **Goteo:** Entrega el agua gota a gota directamente a la raíz de la planta a través de emisores o goteros, optimizando el consumo de agua y fertilizantes, especialmente en áreas áridas. Es adecuado para hortalizas, frutales y viñedos.
- **Subsuperficial:** El agua se aplica debajo de la superficie del suelo mediante tuberías porosas o cintas de exudación, humedeciendo la zona radicular de forma uniforme y reduciendo la evaporación. Este método es ideal para cultivos que requieren un suministro constante de humedad y para terrenos con pendientes.

### 1.2.4. Fundamentos de la Microaspersión

Citando a Barreiro y Cheme (2022) la microaspersión es un sistema de riego que aplica agua en forma de pequeñas gotas a través de microaspersores, los cuales se instalan en las tuberías de riego. Este sistema se caracteriza por su alta eficiencia en el uso del agua, ya que permite una aplicación localizada y controlada en la zona radicular de las plantas. Los microaspersores funcionan a baja presión y generan un patrón de distribución de agua uniforme, lo que minimiza

las pérdidas por evaporación y escorrentía. Además, la microaspersión se adapta a diferentes tipos de cultivos y terrenos, lo que la convierte en una opción versátil para la agricultura moderna.

Por otro lado, Lama (2023) señala que el riego por microaspersión es una técnica de riego localizada que utiliza microaspersores para aplicar agua en forma de pequeñas gotas sobre la zona radicular de las plantas. Este sistema es ideal para frutales, ya que permite un uso más eficiente del agua y los nutrientes, reduce el riesgo de enfermedades y mejora la calidad de la fruta. A continuación, en la figura 2 se puede observar un sistema de Microaspersión para el cultivo de Pitahaya:

**Figura 3.** *Sistema de Microaspersión cultivo de Pitahaya*



En la tabla 2 se determinan las características del sistema de riego por microaspersión en los cultivos y sus componentes:

**Tabla 2.** Características del sistema de riego por microaspersión en los cultivos

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Definición</b>	Técnica de riego que aplica agua en pequeñas gotas mediante aspersores de baja presión (microaspersores).
<b>Componentes</b>	Tuberías, fuente de agua, válvulas, filtros, microaspersores (cuerpo, boquilla, disco deflector, filtro, conexión).
<b>Tipos de filtros</b>	Mallas, arena, anillas.
<b>Beneficios</b>	Mayor eficiencia de absorción de agua y nutrientes, menor riesgo de enfermedades, flexibilidad en la programación de riego.
<b>Desventajas</b>	Mayor coste inicial, obstrucción de boquillas, requiere mantenimiento, pérdida de agua por evaporación, problemas de uniformidad.
<b>Diferencias con riego por aspersión</b>	Gotas de agua más pequeñas, cubre menor superficie, menor uniformidad, mayor eficiencia, mayor coste inicial, menor mantenimiento.
<b>Tipos de sistemas</b>	Baja presión, alta presión, cabezales ajustables, cabezales intercambiables, emisores autocompensantes.
<b>Cultivos</b>	Frutales, hortalizas, plantas ornamentales, campos deportivos, cultivos en maceta.
<b>Beneficios en frutales</b>	Mejora la calidad de la fruta, aumenta la eficiencia del uso del agua, ahorra tiempo y mano de obra, reduce la propagación de enfermedades, mejora el crecimiento y la producción.

Fuente. Obtenido de Lama (2023)



Aunque el riego por goteo presenta alta eficiencia en la aplicación del agua (85-95%), el sistema de microaspersión, según Lama (2023), se presenta como una mejor opción para el cultivo de pitahaya, ya que no solo permite un uso más eficiente del agua y los nutrientes, sino que también reduce el riesgo de enfermedades y mejora la calidad de la fruta, factores cruciales para optimizar la producción.

#### **1.2.5. Definición de Eficiencia en Sistemas de Riego**

El término más utilizado para evaluar los sistemas de riego superficiales es la eficiencia del riego. De acuerdo con Chamba, Zobelzu, y Juana (2020), la eficiencia se define como la relación entre el volumen de agua suministrado y el volumen de agua que se recibe en una zona específica del sistema de riego. Esta relación, expresada en porcentaje, refleja las pérdidas ocurridas, que corresponden a la diferencia entre ambos volúmenes.

De acuerdo con Velásquez (2020), la eficiencia en sistemas de riego se define como la relación entre la cantidad de agua que realmente llega a la zona radicular de la planta y es utilizada para su crecimiento y la cantidad total de agua aplicada. Un sistema de riego eficiente minimiza las pérdidas por evaporación, escorrentía o percolación profunda, asegurando que la mayor parte del agua aplicada esté disponible para la planta. En el estudio, se evaluaron diferentes métodos de riego (cápsulas porosas y riego por succión) y niveles de humedad en el sustrato para determinar la eficiencia de cada sistema en el cultivo de pitahaya.

### **1.2.6. Tipos de eficiencia en el sistema de riego localizado**

La eficiencia en los sistemas de riego localizado se analiza mediante diversos componentes que permiten evaluar y optimizar el uso del agua. A continuación, se describen los principales tipos de eficiencia:

#### **1. Eficiencia de Conducción o Transporte**

Representa la relación entre el volumen de agua que se suministra y el volumen que llega al sistema de distribución. Se ve afectada por procesos como la percolación, la infiltración, la evaporación y las fugas en las tuberías o canales.

#### **2. Eficiencia de Requerimiento o Almacenamiento (Er)**

Evalúa el porcentaje de agua que logra ser almacenada en el suelo dentro de la zona radicular del cultivo, en relación con el agua suministrada. Factores como la filtración, la evaporación y las fugas influyen directamente en este componente.

#### **3. Eficiencia de Aplicación (Ea)**

Mide el volumen de agua que realmente llega a las raíces del cultivo respecto al volumen aplicado. Las pérdidas asociadas a este tipo de eficiencia incluyen evaporación, arrastre del viento, percolación y escurrimiento superficial.

#### **4. Eficiencia de Operación**

Está relacionada con el manejo adecuado del sistema de riego. Un mal manejo, como tiempos de riego excesivos o falta de mantenimiento, puede disminuir la eficiencia general del sistema, ocasionando desperdicio de agua y afectando la uniformidad de la aplicación.

Estos componentes son clave para garantizar que el agua sea utilizada de manera eficiente, reduciendo pérdidas y maximizando su aprovechamiento en el cultivo de pitahaya roja en el área de estudio.

##### **1.2.7. Eficiencia de Aplicación**

La eficiencia de aplicación en sistemas de riego por microaspersión se refiere a la capacidad del sistema para entregar el agua de forma precisa y uniforme a la zona radicular de las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación, escorrentía o percolación profunda. Un sistema eficiente asegura que la mayor parte del agua aplicada sea utilizada por el cultivo, lo que se traduce en un uso responsable del recurso hídrico y una mayor productividad (Muñoz, 2022).

Según Velásquez (2020) la eficiencia de aplicación se refiere a la capacidad de un producto, como un pesticida o fertilizante, de alcanzar su objetivo y lograr el efecto deseado con la mínima cantidad de desperdicio y el menor impacto ambiental posible. Existen varios factores que influyen en la eficiencia de la aplicación, y se pueden clasificar en diferentes tipos según el enfoque:

**1. Eficiencia física:** Se centra en la correcta distribución del producto sobre el objetivo. Esto implica lograr una cobertura uniforme y precisa, minimizando la deriva, la evaporación y el escurrimiento. Factores como el tamaño de las gotas, la presión de pulverización, el tipo de

boquilla y las condiciones climáticas (viento, temperatura, humedad) juegan un papel crucial en este tipo de eficiencia.

**2. Eficiencia biológica:** Evalúa la capacidad del producto para alcanzar el objetivo biológico, como controlar una plaga o enfermedad específica, o proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de un cultivo. La elección del producto adecuado, la dosis correcta, el momento de aplicación y la resistencia del objetivo son factores determinantes en la eficiencia biológica.

**3. Eficiencia económica:** Considera el costo total de la aplicación, incluyendo el producto, la mano de obra, el equipo y el combustible. Optimizar la eficiencia económica implica minimizar los costos sin comprometer la eficacia del tratamiento. Elegir productos rentables, utilizar la tecnología de aplicación adecuada y planificar cuidadosamente las operaciones son aspectos clave para lograr este tipo de eficiencia.

**4. Eficiencia ambiental:** Se centra en minimizar el impacto ambiental de la aplicación. Esto incluye reducir la contaminación del agua, del suelo y del aire, proteger la biodiversidad y la salud humana. Utilizar productos de baja toxicidad, implementar prácticas de manejo integrado de plagas y optimizar las técnicas de aplicación para reducir la deriva y el escurrimiento son medidas importantes para mejorar la eficiencia ambiental.

### **1.3. Uniformidad de Riego Localizado**

#### **1.3.1. Definición de uniformidad en sistemas de riego**

La uniformidad en sistemas de riego se refiere a la capacidad del sistema para distribuir el agua de manera equitativa sobre toda el área de cultivo. Un sistema con alta uniformidad asegura que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua, lo que promueve un crecimiento uniforme y maximiza el rendimiento. Por el contrario, una baja uniformidad puede resultar en zonas con exceso de agua (que puede provocar enfermedades y desperdicio) y zonas con déficit de agua (que limita el crecimiento y reduce la producción) (Barreiro y Cheme, 2022).

#### **1.3.2. Tipos de uniformidad**

De acuerdo con Barreiro y Cheme (2022) existen diferentes tipos de uniformidad que se evalúan en los sistemas de riego:

- **Uniformidad de emisión:** Se centra en la variación del caudal o volumen de agua emitido por los emisores individuales. Se calcula mediante el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) que considera la desviación del caudal medio.
- **Uniformidad de distribución:** Evalúa cómo se distribuye el agua sobre la superficie del suelo, considerando la superposición de los patrones de riego y la interacción con las características del terreno.
- **Uniformidad de aplicación:** Considera la cantidad de agua que realmente llega a la zona radicular de las plantas, teniendo en cuenta factores como la evaporación, la escorrentía y la infiltración.



### **1.3.3. Distribución de la Dosis de Riego en el Suelo**

La distribución de la dosis de riego en el suelo se refiere a la forma en que el agua aplicada por un sistema de riego es repartida en el perfil del suelo dentro de la zona radicular de las plantas. Este concepto evalúa la uniformidad con la que el agua alcanza el área de las raíces, asegurando que todas las plantas reciban la cantidad necesaria para su desarrollo sin causar excesos o déficits de humedad.

Es importante diferenciar este término de la distribución de agua en el suelo, que se centra únicamente en el movimiento del agua dentro del perfil del suelo, influido por procesos como infiltración, percolación y redistribución capilar. Mientras que la distribución de agua describe el comportamiento del recurso en el suelo, la distribución de la dosis de riego tiene un enfoque práctico en cómo se aplica y cuánta agua es utilizada eficientemente por las plantas.

### **1.3.4. Distribución del Agua en el Suelo: Infiltración y Redistribución**

Cuando se aplica agua mediante microaspersión, esta se infiltra en el suelo a través de los poros y se redistribuye en función de las características del suelo y la cantidad de agua aplicada. La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, mientras que la redistribución se refiere al movimiento del agua dentro del perfil del suelo. La velocidad de infiltración depende de factores como la textura del suelo, la estructura, la presencia de materia orgánica y la humedad inicial. Una vez que el agua se ha infiltrado, se redistribuye por capilaridad y gravedad, humedeciendo el suelo en un patrón tridimensional alrededor del emisor (Barreiro Moreira y Cheme Clevel, 2022).

#### **1.4. Procedimiento de evaluación de Sistema de Riego Localizado**

##### **1.4.1. Parámetros para Evaluar la Eficiencia de Aplicación**

De acuerdo con Apaza y López (2017) para evaluar la eficiencia de aplicación, se utilizan diferentes parámetros que permiten cuantificar la uniformidad en la distribución del agua y el comportamiento hidráulico del sistema. Algunos de los parámetros más importantes son:

- **Coefficiente de Uniformidad de Caudal (CUC):** Indica la uniformidad con la que se distribuye el agua en los emisores. Se calcula comparando el caudal de los emisores con el caudal medio del sistema. Un CUC alto indica una distribución uniforme del agua.
- **Coefficiente de Variación (CV):** Mide la dispersión de los caudales de los emisores con respecto al caudal medio. Un CV bajo indica una mayor uniformidad en la distribución del agua.
- **Coefficiente de Uniformidad de Presión (CUP):** Evalúa la uniformidad de la presión en los emisores a lo largo del sistema. Una presión uniforme asegura un caudal constante en cada emisor.
- **Coefficiente de Uniformidad del Sistema (CUS):** Considera la uniformidad de caudal y presión en todo el sistema de riego.
- **Velocidad de Infiltración:** Determina la capacidad del suelo para absorber el agua aplicada por los emisores.
- **Diámetro de Mojado y Profundidad del Bulbo Húmedo:** Indican el área y la profundidad del suelo que se humedece con el agua aplicada por los emisores.

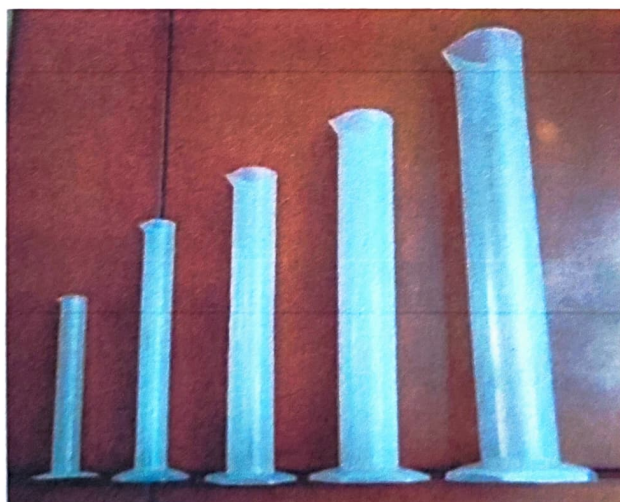
#### 1.4.2. Métodos de Medición: Uso de Probetas y Cronómetros

De acuerdo con Quiroz Zapata (2022) para determinar la eficiencia de aplicación del agua en un sistema de riego, es necesario realizar mediciones precisas del volumen de agua que se está aplicando en diferentes puntos del área de cultivo. Uno de los métodos más sencillos y comunes para realizar estas mediciones es el uso de probetas y cronómetros.

Para medir la eficiencia de aplicación se pueden emplear métodos sencillos como el uso de probetas y cronómetros. Este método consiste en recolectar el agua emitida por un número representativo de goteros durante un tiempo determinado. El volumen de agua recolectado en cada probeta se mide y se compara con el caudal nominal del emisor. Con estos datos, se pueden calcular los diferentes coeficientes de uniformidad (Muñoz, 2022).

A continuación, en la figura 4 se observan varias medidas de probetas que pueden ser utilizadas para medir la correcta aplicación del agua en los cultivos:

**Figura 4.** *Probetas*





La información obtenida de las probetas permite evaluar la uniformidad de distribución del agua, identificando zonas donde se está aplicando más o menos agua de la necesaria. Además, al comparar la lámina de riego aplicada con la lámina de riego requerida por el cultivo, se puede determinar la eficiencia de aplicación del sistema.

#### **1.4.3. Cálculo del Coeficiente de Uniformidad (ISO 15996:2006)**

Teniendo en cuenta a Barreiro y Cheme (2022) el coeficiente de uniformidad (CU) es un indicador que mide la uniformidad de la distribución del agua en un sistema de riego. La norma ISO 15996:2006 establece un método para calcular el CU en sistemas de microaspersión. Este método consiste en medir la cantidad de agua aplicada en diferentes puntos del área de riego y calcular la desviación estándar de estas mediciones. El CU se calcula como la relación entre la media de las mediciones y la desviación estándar. Un CU alto indica una distribución uniforme del agua, lo que se traduce en un uso más eficiente del agua y un mejor desarrollo de los cultivos.

### **1.5. Factores que afectan la uniformidad y la eficiencia**

#### **1.5.1. Factores que Afectan la Uniformidad del Riego**

Según Barreiro y Cheme (2022) la redistribución del agua en el suelo por microaspersión se ve afectada por diversos factores, entre los que se encuentran:

- **Características del suelo:** La textura, estructura, densidad aparente y contenido de materia orgánica del suelo influyen en la capacidad de infiltración y la velocidad de redistribución del agua.

- **Caudal del emisor:** El caudal del microaspersor determina la cantidad de agua aplicada y, por lo tanto, el volumen de suelo humedecido.
- **Tiempo de riego:** La duración del riego afecta la profundidad de humedecimiento y la redistribución del agua en el perfil del suelo.
- **Pendiente del terreno:** En terrenos con pendiente, el agua tiende a moverse hacia las zonas más bajas, lo que puede generar una distribución no uniforme.
- **Presencia de capas impermeables:** La presencia de capas compactadas o con baja permeabilidad en el suelo puede restringir la infiltración y la redistribución del agua.

#### 1.5.2. Problemas Comunes que Afectan la Eficiencia

Según Jaramillo (2022) a pesar de sus ventajas, el riego localizado no está exento de problemas que pueden afectar su eficiencia y, por ende, el rendimiento de los cultivos. Algunos de los problemas más comunes son:

- **Obstrucción de los emisores:** La obstrucción de los emisores es uno de los problemas más frecuentes en el riego localizado, especialmente en zonas con aguas de mala calidad. Las partículas en suspensión, sales disueltas, algas y microorganismos pueden acumularse en los goteros y microaspersores, reduciendo o incluso bloqueando el flujo de agua. Esto provoca una distribución desigual del agua, con zonas que reciben un exceso de riego y otras que sufren déficit hídrico, afectando el crecimiento y la producción de los cultivos.
- **Fugas y roturas en las tuberías:** Las fugas y roturas en las tuberías, ya sea por desgaste, mala instalación o daños causados por roedores o maquinaria agrícola, representan

pérdidas de agua y una disminución en la eficiencia del sistema. Además, las fugas pueden provocar erosión del suelo y desplazamiento de nutrientes.

- **Presión inadecuada:** Una presión inadecuada en el sistema, ya sea excesiva o insuficiente, puede afectar el funcionamiento de los emisores y la uniformidad de la aplicación del agua. Una presión muy alta puede dañar los emisores y provocar fugas, mientras que una presión muy baja reduce el caudal de salida y la eficiencia del riego.
- **Diseño inadecuado del sistema:** Un diseño inadecuado del sistema, que no tenga en cuenta las características del terreno, el tipo de cultivo, la calidad del agua y las necesidades hídricas de las plantas puede comprometer la eficiencia del riego localizado. Es fundamental un diseño que garantice la uniformidad en la distribución del agua y la aplicación de la cantidad necesaria en cada punto del cultivo.
- **Manejo inadecuado del sistema:** El manejo inadecuado del sistema, como no realizar un mantenimiento periódico, no controlar la calidad del agua o no ajustar el riego a las necesidades del cultivo, puede reducir la eficiencia del sistema y afectar la producción.

## **1.6. Estrategias de mejora para el Riego Localizado**

### **1.6.1. Estrategias para Mejorar la Eficiencia de Aplicación**

Lama (2023) señala que para optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia del riego localizado, es necesario implementar estrategias que aborden los problemas mencionados anteriormente y que permitan un manejo más preciso y eficiente del sistema. Estas estrategias incluyen:

- **Mantenimiento preventivo:** Realizar un mantenimiento preventivo periódico del sistema de riego es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Esto incluye la limpieza de filtros, la revisión de emisores y tuberías, la detección y reparación de fugas y el control de la presión del sistema.
- **Uso de tecnologías de control y automatización:** La incorporación de tecnologías de control y automatización, como sensores de humedad del suelo, programadores de riego y sistemas de telecontrol, permiten un manejo más preciso y eficiente del riego, ajustando la aplicación de agua a las necesidades reales del cultivo y optimizando el uso del agua.
- **Capacitación y formación:** La capacitación y formación de los usuarios en el manejo del sistema de riego localizado es esencial para garantizar su correcto funcionamiento y maximizar su eficiencia. Es importante que los usuarios conozcan las características del sistema, los procedimientos de mantenimiento y las mejores prácticas de riego.
- **Selección adecuada de los componentes del sistema:** La selección adecuada de los componentes del sistema, como emisores, tuberías y filtros, es crucial para garantizar la eficiencia y durabilidad del sistema de riego. Es importante elegir componentes de calidad, adaptados a las características del agua, el tipo de cultivo y las condiciones del terreno.

#### **1.6.2. Estrategias para Mejorar la Uniformidad del Riego**

Teniendo en cuenta a Barreiro y Cheme (2022) para mejorar la redistribución del agua en el suelo por microaspersión, se pueden implementar las siguientes estrategias:

- **Diseño adecuado del sistema de riego:** Seleccionar el tipo de microaspersor, el caudal y la distancia entre emisores en función de las características del suelo y el cultivo.
- **Manejo del suelo:** Mejorar la estructura del suelo mediante la incorporación de materia orgánica y la labranza de conservación.
- **Riego deficitario controlado:** Aplicar el agua en cantidades menores a la capacidad de campo, lo que favorece la exploración radicular y la eficiencia en el uso del agua.
- **Monitoreo de la humedad del suelo:** Utilizar sensores de humedad para determinar la cantidad de agua disponible en el suelo y ajustar el riego en consecuencia.
- **Uso de acolchados:** Los acolchados reducen la evaporación del agua del suelo y ayudan a mantener una humedad uniforme.

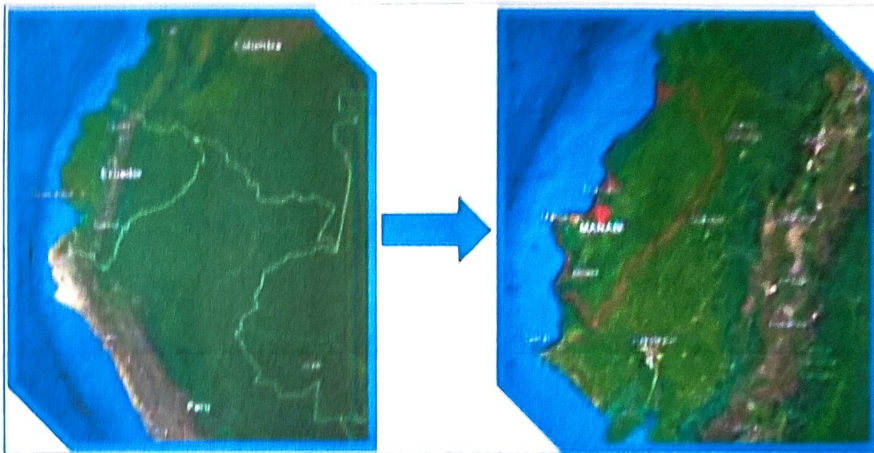


## CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO

### Localización del Área de Estudio

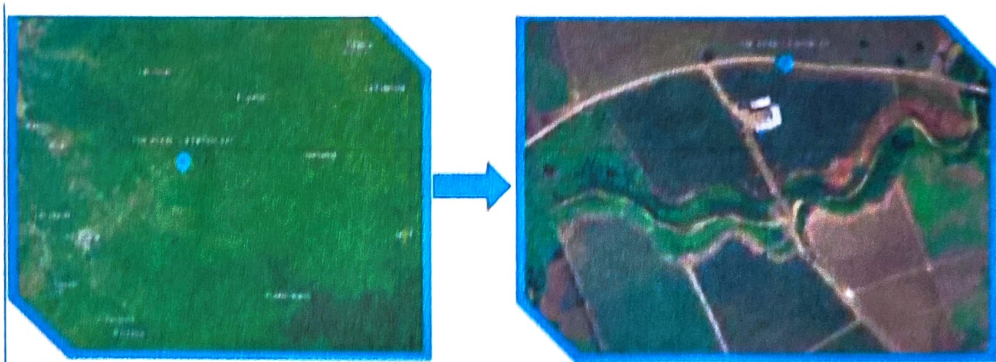
Se ubica en una parcela de 1.25 hectáreas en el sector de las Papayas, Cantón Rocafuerte, provincia de Manabí. Como se aprecia en la Figura 5.

**Figura 5. Ubicación Macro localización**



En la Hacienda "La Bendición" ubicada en la vía colectora E38 trayecto Rocafuerte Tosagua. Como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6. Ubicación Micro localización**



## **2.1 Capacidad de Campo**

La capacidad de campo es el máximo contenido de humedad que puede retener el suelo después de haberse evacuado el agua gravitacional. Este ensayo se determinó mediante el método de la Plazoleta de Inundación, siguiendo procedimientos estandarizados para evaluar la retención de agua en el suelo. La Humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico que será descrito con posterioridad.

Simultáneamente se midió la Humedad con una sonda electromagnética (modelo DELTA-T HH2) en el estrato superficial de 10 cm. Para así poder contrastar los resultados de la humedad volumétrica con la humedad gravimétrica.

### **2.1.1 Humedad Volumétrica**

La humedad volumétrica es un parámetro clave en el manejo del riego, ya que permite cuantificar el volumen de agua presente en una unidad de volumen de suelo, proporcionando información esencial para determinar el régimen de riego óptimo en los cultivos. En este estudio, se midió la humedad volumétrica del suelo en una parcela de 1.25 hectáreas cultivada con pitahaya roja, ubicada en el sector Las Papayas, cantón Rocafuerte, provincia de Manabí.

### **2.1.2 Humedad Gravimétrica**

La humedad gravimétrica es un indicador fundamental para evaluar la cantidad de agua retenida en el suelo en relación con su peso seco. Este parámetro permite determinar la capacidad del suelo para almacenar agua, información clave para el diseño y manejo de sistemas de riego. En este estudio, se midió la humedad gravimétrica del suelo en una parcela de 1.25 hectáreas

## **2.1 Capacidad de Campo**

La capacidad de campo es el máximo contenido de humedad que puede retener el suelo después de haberse evacuado el agua gravitacional. Este ensayo se determinó mediante el método de la Plazoleta de Inundación, siguiendo procedimientos estandarizados para evaluar la retención de agua en el suelo. La Humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico que será descrito con posterioridad.

Simultáneamente se midió la Humedad con una sonda electromagnética (modelo DELTA-T HH2) en el estrato superficial de 10 cm. Para así poder contrastar los resultados de la humedad volumétrica con la humedad gravimétrica.

### **2.1.1 Humedad Volumétrica**

La humedad volumétrica es un parámetro clave en el manejo del riego, ya que permite cuantificar el volumen de agua presente en una unidad de volumen de suelo, proporcionando información esencial para determinar el régimen de riego óptimo en los cultivos. En este estudio, se midió la humedad volumétrica del suelo en una parcela de 1.25 hectáreas cultivada con pitahaya roja, ubicada en el sector Las Papayas, cantón Rocafuerte, provincia de Manabí.

### **2.1.2 Humedad Gravimétrica**

La humedad gravimétrica es un indicador fundamental para evaluar la cantidad de agua retenida en el suelo en relación con su peso seco. Este parámetro permite determinar la capacidad del suelo para almacenar agua, información clave para el diseño y manejo de sistemas de riego. En este estudio, se midió la humedad gravimétrica del suelo en una parcela de 1.25 hectáreas



4. Luego se procedió a cubrir la zona con el plástico negro para así evitar que se pudiera penetrar agua del exterior y también evitar la evaporación.
  5. Se permitió que el suelo drene por aproximadamente 72 horas para que alcanzara la capacidad de campo tomándose en cuenta que se tenía un suelo de textura arcillosa media.
  6. Transcurridas las 72 horas se procedió al uso del barreno y se tomaron tres muestras para cada horizonte de 10 cm de espesor desde la superficie hasta 50 cm de profundidad (5 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm y 40-50 cm).
- En la Figura 8 podemos observar el primere punto de perforación al estrato superficial.

**Figura 8.** *Primer Punto de perforación*



7. Lo cual genera un total de 15 muestras de suelo. Esta operación se efectuó en dos esquinas contrarias de la plazoleta, lo cual generó un total de 30 muestras (dos perforaciones como se muestra en la Figura 9 con 15 muestras en cada perforación). Se podrán observar las diferentes perforaciones en las figuras del Anexo 1.

**Figura 9.** *Segundo Punto de perforación*



8. Las muestras extraídas fueron pesadas en el campo para poder determinar el peso húmedo y luego fueron llevadas al laboratorio y se procedió a colocar cada una en el horno a 105 °C durante 24 horas como se puede observar en la Figura 10 y *Anexo 2*

**Figura 10.** *Muestras en el horno*



9. Una vez transcurrido el tiempo determinado se sacaron las muestras del horno y se procedió a pesar cada una de ellas en el mismo orden tomada en campo, como se muestra en la *Figura 11 y Anexo 2*

**Figura 11.** *Pesado de las muestras secas*



10. Luego se procedió al cálculo del porcentaje de agua retenida mediante la siguiente fórmula:

$$\% Cc = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Se repitió este cálculo para cada muestra y así se obtuvieron los valores promedios por estratos.

## 2.2 Evaluación del Sistema de Riego

El objetivo es analizar la uniformidad en la distribución del agua del sistema de riego por microaspersión.



El proceso que se desarrolló se describe a continuación:

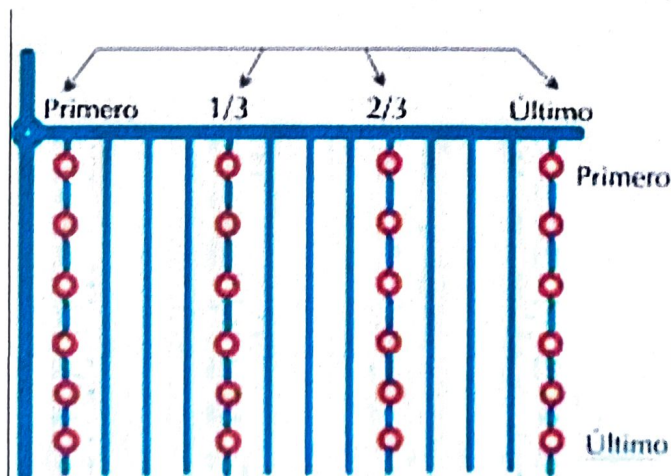
1. Se seleccionó el sector de riego dentro de la parcela, que se puede observar en la Figura 12

**Figura 12. Sector de riego**



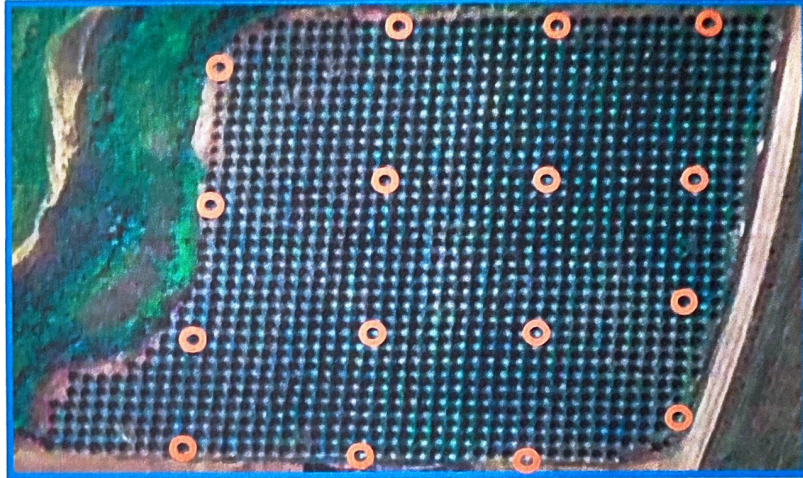
2. Se determinaron cuatro tuberías laterales sobre la tubería secundaria en funcionamiento. Una al principio, otra al extremo final y las otras dos a igual distancia dentro de las dos primeras, como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13. Esquema de laterales**



3. Se midieron en condiciones normales de operación los caudales al principio, a 1/3, a 2/3 y al final de cada lateral. En la Figura 14 se puede observar los puntos donde se tomaron las mediciones en los 4 laterales.

**Figura 14.** *Puntos de observación del Caudal*



4. El caudal se midió durante un periodo de 30 segundos para determinar la cantidad de litros por planta que entregaba cada emisor (16 lecturas en total). En la Figura 15 y Anexo 3 se puede observar el proceso para la toma de lecturas.

**Figura 15. Medición de Caudal**



5. Se calculó la media de los cuatro valores más pequeños, que representan el caudal mínimo de distribución por planta.
6. Se calculó la media general de los 16 valores, que representa el caudal medio de los distribuidores.
7. Se determinó el CU en la parcela por la expresión siguiente:

$$CUq = 100 \frac{q_{25\%}}{q_{med}}$$

Donde:

$q_{25\%}$  = media del 25% de los valores mas bajos de los volúmenes recogidos, en litros/hora.

$q_{med}$  = media de todos los volúmenes de agua recogidos, en litros/hora.



## Estudio de la Distribución de Agua en el Suelo

El procedimiento general utilizado se describe a continuación:

1. Para la medición del contenido de humedad superficial se seleccionaron 5 plantas de manera aleatoria dentro de la parcela como se muestra en la Figura 16 a las cuales se les marco con una cinta azul para poderlas diferenciar.

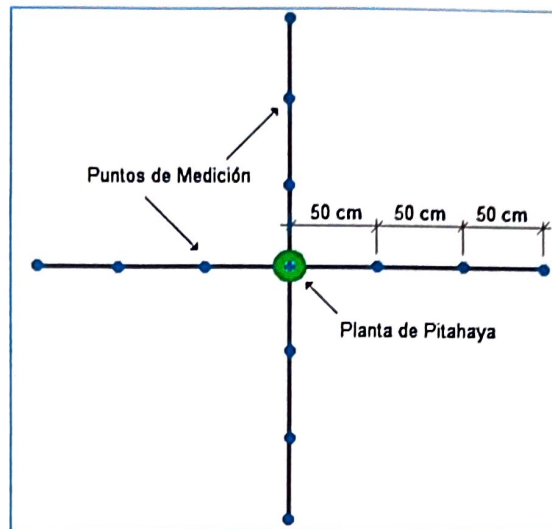
**Figura 16.** *Ubicación de las 5 plantas para el estudio de humedad superficial*



2. En cada planta seleccionada se tomaron mediciones en 4 radios y en puntos distanciados a 50 cm como se muestra en la Figura 17.



**Figura 17.** *Puntos de medición*



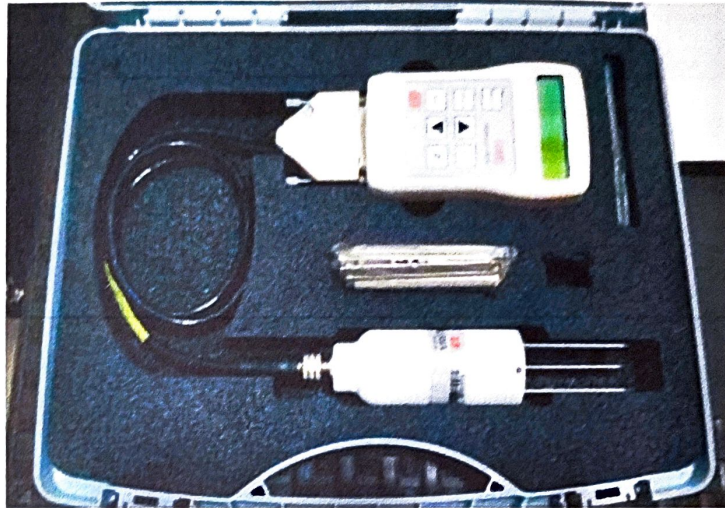
3. De esta forma se tomaron 12 observaciones de humedad por cada planta y esto se lo realizó antes y posterior al riego (Figura 18 y Anexo 3) con un intervalo de hasta 72 horas.

**Figura 18.** *Toma de observaciones de Humedad*



4. Estas mediciones fueron realizadas con la sonda electromagnética DELTA-T HH2 mostrada en la Figura 19.

**Figura 19.** Sonda electromagnética DELTA-T HH2



5. Posterior a la toma de datos, se procedió al procesamiento de estos y a la interpolación de la matriz con el paquete de R “eimpute” y luego esta fue convertida a imagen ráster para facilitar su visualización.

### **Análisis de factores que afectan al sistema de riego**

Durante las visitas al campo de estudio y los ensayos realizados, se verificaron los factores que podrían afectar el correcto funcionamiento del sistema de riego. Este proceso se describe a continuación:

1. Se recorrió toda la parcela siguiendo todos los laterales de riego para verificar de qué manera estaba distribuido el sistema de tuberías como se puede ver en la Figura 20 y Anexo 4.

**Figura 20.** *Recorrido de los laterales de riego*



2. Se realizó además una inspección durante el riego verificando el funcionamiento y la posición de los microaspersores durante el tiempo de uso. En la Figura 21 y Anexo 4 se puede evidenciar los microaspersores en funcionamiento.

**Figura 21.** *Sistema de microaspersión en funcionamiento*





3. Se realizó una inspección por el recorrido de los laterales, verificando la ausencia de fugas en el sistema, así como la ausencia de un sistema de filtrado.
4. Se inspeccionó el cabezal de riego localizado y sus válvulas del sistema de riego que usa la parcela de estudio como se muestra en la Figura 22.

**Figura 22.** *Cabezal de riego localizado.*



### CAPITULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### Comportamiento de la Capacidad de Campo del suelo

Realizado el procesamiento de todas las muestras obtenidas por el método de la Plazoleta de Inundación que se pueden visualizar en el Anexo 5, se realizó un promedio teniendo en cuenta los 2 puntos tomados y los diferentes niveles de profundidad en las que se tomaron las muestras tal como se indican en la Tabla 3 a continuación:

**Tabla 3. Resultados de la Capacidad de Campo**

<b>Humedad a Capacidad de Campo (% pss)</b>			
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Promedio</b>
<b>0-10</b>	42,19	43,73	<b>42,96</b>
<b>10-20</b>	39,91	36,93	<b>38,42</b>
<b>20-30</b>	36,93	36,02	<b>36,48</b>
<b>30-40</b>	37,34	36,52	<b>36,93</b>
<b>40-50</b>	37,15	37,30	<b>37,23</b>
<b>Promedio</b>	<b>38,70</b>	<b>38,10</b>	<b>38,40</b>

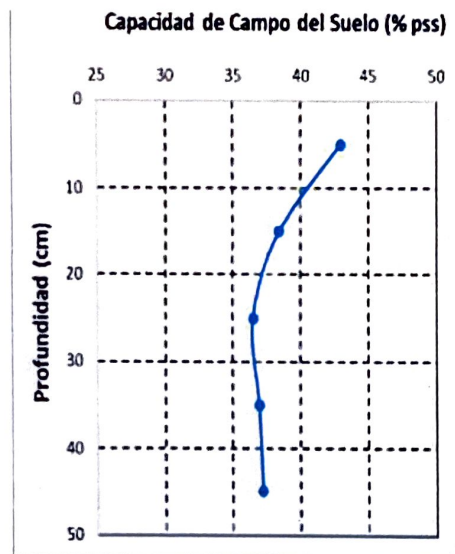
Con los datos de la Tabla 3 se pudo crear la curva Capacidad de campo / Profundidad que se muestra en la Figura 23, donde se puede observar el promedio de la capacidad del campo del suelo y su variación a diferentes profundidades.

#### **En el estrato de 0-10 cm**

- Humedad Gravimétrica: 42,96 % pss
- Humedad Volumétrica: 45 %

Si se considera la Fracción de Agotamiento Crítico del 30 % (Juárez, 2020), los límites superior e inferior de Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) serían 45 % y 31,5 % respectivamente (expresados en Humedad Volumétrica).

**Figura 23.** *Capacidad de campo del suelo*



Esto implica un valor de AFA de 13,5 %, el cual puede considerarse como la dosis de riego a aplicar si se riega con el Criterio de **Regar a Agotamiento Crítico y Reponer a Capacidad de Campo**.



### Evaluación de la Eficiencia de la distribución del Agua por el sistema de Riego.

Los valores obtenidos de la evaluación del sistema de riego siguiendo la norma ISO 15996:2006 se presentan en el Anexo 6. Una vez realizado el procesamiento de los datos se creó la Tabla 4 donde muestran los promedios de los volúmenes obtenidos.

Tabla 4. Promedio de volúmenes.

Orden Decreciente	Promedio 100 %	Promedio 25 %
496	355,8	
481		
432		
405		
405		
402		
364		
340		
339		
329		
313		
306		
290		
275		
266		
250		
		270,3

De la Tabla 4 se obtuvo que los 4 valores inferiores dieron un promedio de 270.3ml y el promedio total de las muestras tomadas fue 355.8ml.

$$CUq = 100 \frac{270,3}{355,8} \quad CUq = 75,95\%$$

Aplicando la fórmula del coeficiente de uniformidad se obtiene 75,95%

Este valor se encuentra en la categoría de aceptable en el rango de 70% al 80% como se indica en la Tabla 5

**Tabla 5. Categoría de Coeficientes de Uniformidad**

<b>Categoría</b>	<b>CU</b>
<b>Excelente</b>	<b>&gt; 90%</b>
<b>Buena</b>	<b>80% - 90%</b>
<b>Aceptable</b>	<b>70% - 80%</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>&lt; 70%</b>

Además, se pudo determinar el caudal que recibe cada planta en litros por hora lo que nos da un promedio 42.70 l/h como se muestra en la Tabla 6 este valor también sirve para una planificación eficiente del tiempo de Riego.

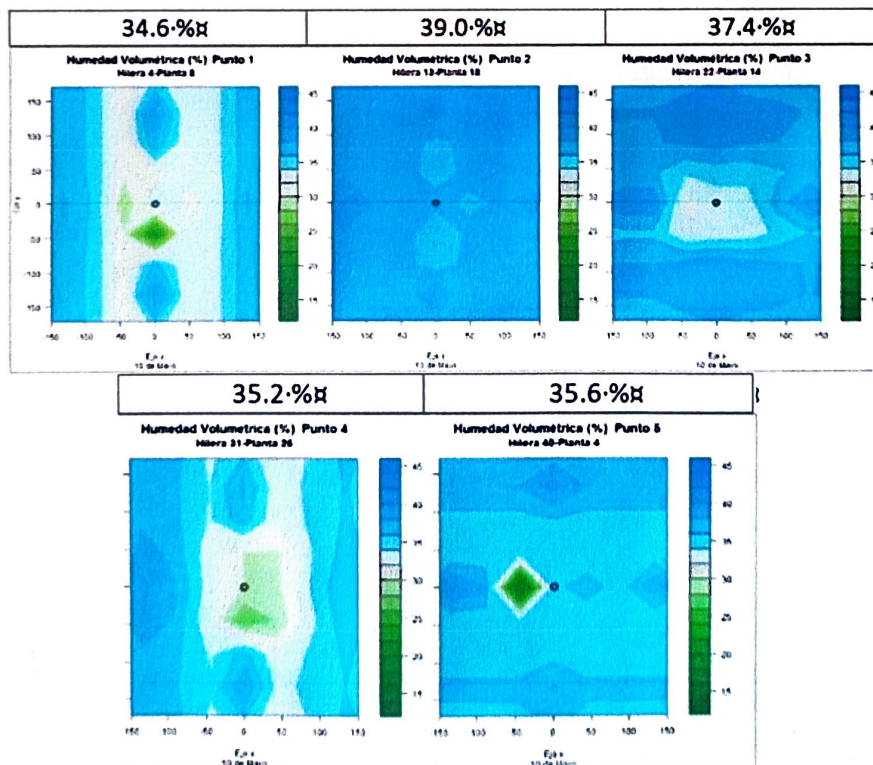
**Tabla 6. Caudal de emisores**

<b>Volumen (ml)</b>	<b>Caudal (l/h)</b>
496	59.5
481	57.7
432	51.8
405	48.6
405	48.6
402	48.2
364	43.7
340	40.8
339	40.7
329	39.5
313	37.6
306	36.7
290	34.8
275	33.0
266	31.9
250	30.0
<b>355.81</b>	<b>42.70</b>

### Evaluación de la Distribución del agua en el Suelo.

En la Figura 24 se pueden observar los valores de humedad volumétrica medidos en cada una de las plantas 1 hora después de la aplicación del riego. Se puede observar de manera gráfica en cada planta que los tonos de color verde (inferiores al 30% en la escala) son muy escasos. Estos tonos en verde indican las zonas de menor disponibilidad de agua que están muy cercanas a la fracción de agotamiento crítico del 30% considerada en la planificación realizada con el programa CROPWAT, lo cual es equivalente a una humedad en el suelo del 70% de la humedad volumétrica a capacidad de campo  $H_{vcc}$  (31.5%).

Figura 244. *Humedad Volumétrica del Suelo en cinco plantas 1 hora después del Riego*



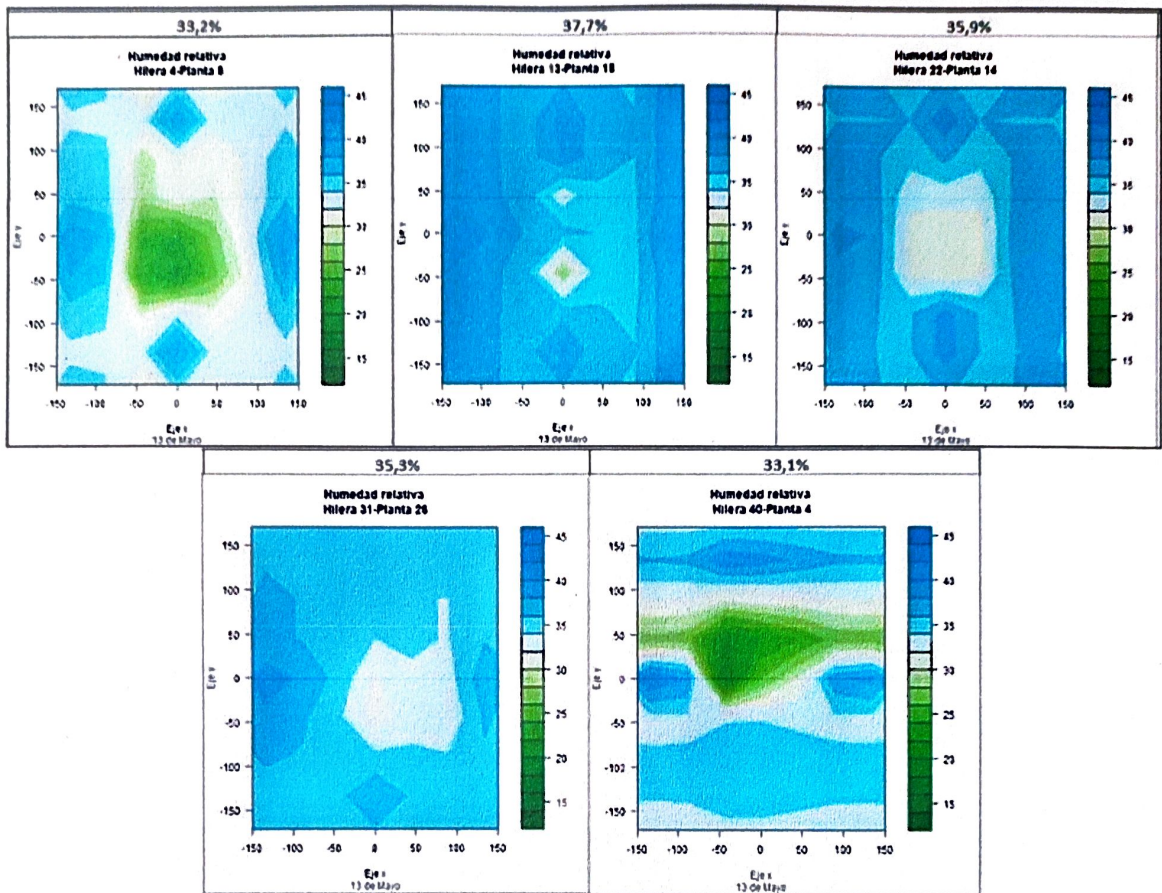
El promedio de humedad volumétrica obtenido en las cinco plantas fue de 36,4%. Desde el punto de vista cuantitativo, la existencia de estas pequeñas zonas de déficit mostradas en verde puede considerarse despreciable si se tiene en cuenta que todos los valores de Hvcc obtenidos en cada planta están por encima de 31,5%, lo cual clasifica como agua fácilmente aprovechable (AFA).

Si se tiene en cuenta que la humedad volumétrica a capacidad de campo (Hvcc) en la superficie fue de 45%, entonces puede considerarse que la humedad volumétrica (Hv) promedio medida 1 hora después del riego representa un 80,9% de Hvcc.

En la Figura 25, se observa la distribución de humedad 72 horas después del riego. Se puede apreciar un incremento de los tonos en verde, sin embargo, a pesar de que se observa un acercamiento al límite inferior del AFA, todos los valores promedio de Hvcc obtenidos en cada planta se mantienen por encima del 31,5% con un valor promedio de 35.04% en las cinco plantas. Este valor representa el 77.9% de la Hvcc.



Figura 255. Humedad volumétrica del suelo 72 horas después de la aplicación del riego.

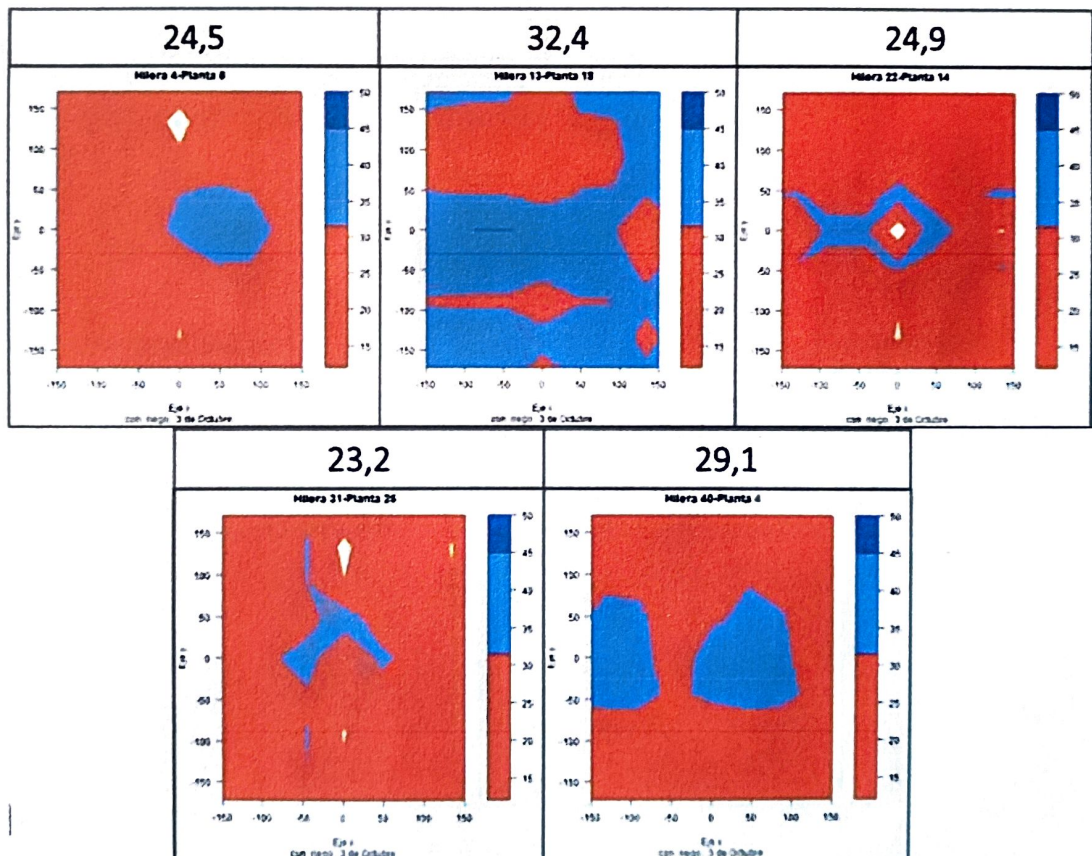


Con este resultado se puede concluir que en esta zona se puede considerar un intervalo de riego a partir del cuarto día sin causar afectaciones al cultivo. Esto coincide con el intervalo de riego promedio anual de 3,7 días generada a partir del programa CROPWAT para estas condiciones edafoclimáticas.



En la Figura 26 se observa la distribución de humedad 7 días después del riego. Se puede apreciar un predominio de tonos de color marrón, lo cual indica que en la mayoría de las plantas la Humedad Promedio está en el límite o es inferior al valor mínimo admisible (31,5 %) después de haber aplicado 1 hora de riego. La humedad promedio en los cinco puntos fue de 26.82, este valor representa un valor de 59.6% de la  $H_{vcc}$ , lo cual supera la fracción de agotamiento crítico del 30%.

**Figura 266.** Humedad volumétrica del suelo 7 días después de la aplicación del riego



### 3.1.1 Análisis comparativo entre el volumen de agua aplicado por el riego y su aporte a la humedad del suelo.

En la Tabla 7 se muestran con mayor precisión los resultados comparativos entre la humedad del suelo antes y después del riego, el incremento de humedad del suelo después de aplicar el riego aplicado a los 7 días de intervalo y el volumen de agua aplicado. Se evidencia que para incrementar la humedad en un 6% (5,97%) es necesario aplicar 46 l/planta. Este aporte se logra con una duración del riego de una hora.

**Tabla 7.** Análisis comparativo entre el volumen de agua aplicado por el riego y su aporte a la humedad del suelo

	Resumen de Humedad Volumétrica en cada Punto (%)					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
<b>Antes de Riego</b>	16,88	25,23	19,75	19,84	22,51	<b>20,84</b>
<b>Después de Riego</b>	24,46	32,41	24,90	23,18	29,13	<b>26,82</b>
<b>Incremento de Humedad</b>	7,58	7,18	5,15	3,34	6,61	<b>5,97</b>
<b>Volumen de Riego (l/planta)</b>	42,00	44,88	40,92	35,40	66,96	<b>46,03</b>

En cambio, si se pretende Regar a Agotamiento Crítico y Reponer a Capacidad de Campo, sería necesario reponer la humedad Volumétrica desde 31.5 hasta 45 % (aporte de 13.5 %). Este aporte se logra con un riego de 115 min (1,92 h) de duración. Este resultado constituye uno de los aportes más significativos de este estudio si se tiene en cuenta que queda definido el tiempo de riego necesario para llevar la humedad del suelo al valor requerido por el cultivo, lo cual permite realizar los ajustes necesarios en la programación para un riego más eficiente.

### **Factores que afectan la Uniformidad del Sistema de Riego**

En la parcela de estudio se pudo constatar varios factores que están interviniendo y afectando la uniformidad de riego, resultados que serán expuestos a continuación producto del análisis e inspecciones que se realizaron en campo.

Durante la examinación del sistema de riego se pudo comprobar que la parcela de estudio estaba dividida en dos sectores ya que se encontraron laterales que se terminaban a media parcela y se comenzaba un nuevo lateral para así abarcar todo el sector como se puede evidenciar en la Figura 27.

**Figura 277.** *Laterales de riego inconclusos*



Esto produce que el sistema de riego para esta parcela este dividida en dos sectores que serán regados en tiempos diferentes, lo cual extiende la duración de la jornada de riego para toda la parcela.

Se confirmó la ausencia de un sistema de filtrado del agua en el sistema de riego lo que provoca la acumulación de partículas y sedimentos en distintos puntos de la red.



También se pudo encontrar que las válvulas de aire presentan obturaciones como piedras y suciedades debido a falta de limpieza de mantenimiento. Este mismo problema se pudo corroborar en el drenaje al final de los laterales donde el agua expulsada durante los primeros 5 segundos era turbia y de color café cargada de suciedad como se puede evidenciar en la Figura 28.

**Figura 288.** *Suciedad en el drenaje de laterales*



Estos problemas físicos del sistema de riego empleado provocan alteraciones a la uniformidad del riego ya que no va a tener un flujo constante debido a las suciedades y obstrucciones, esto es provocado debido a la falta de mantenimiento tanto en el cabezal de riego localizado con sus dos válvulas y filtros estas no presentaban un mantenimiento óptimo ni tampoco se tenía una programación para el mismo. De la misma manera pasa con el drenaje de los laterales que se debe tener una programación periódica para esta tarea logrando así tener una mejor uniformidad en la red de drenaje tomando en consideración los puntos mencionados.

## CONCLUSIONES

1. La capacidad de campo del suelo en la zona de estudio, medida mediante el método de la plazoleta de inundación, alcanzó un promedio de 42.96% de suelo seco, coincidiendo con los valores de humedad volumétrica del 45% obtenidos con la sonda electromagnética. Los límites superior e inferior de Agua Fácilmente Aprovechable se establecen en 45% y 31.5% respectivamente, lo que implica un valor de 13.5%, considerado como la dosis de riego a aplicar si se utiliza el criterio de regar a agotamiento crítico y reponer a capacidad de campo. Este resultado proporciona parámetros clave para la programación eficiente del riego y la gestión hídrica del cultivo.
2. Para garantizar que el suelo alcance nuevamente su capacidad de campo, es necesario regar durante 115 minutos (1.92 horas) para reponer el aporte de 13.5% de humedad volumétrica, logrando así una adecuada gestión del agua y un desarrollo óptimo del cultivo.
3. Se realizó una evaluación hidráulica al sistema de riego siguiendo las indicaciones de la norma ISO 15996: 2006. El coeficiente de uniformidad de distribución obtenido fue de 75.95%, clasificándose como aceptable. Durante la prueba, el sistema aplicó una dosis promedio de 42.7 litros por hora. Sin embargo, se identificó que la principal afectación al coeficiente de uniformidad fue la obstrucción parcial de los microaspersores ubicados al final de los laterales, causada por la acumulación de sedimentos debido a la ausencia de sistema de filtrado.



4. El análisis de distribución de humedad superficial realizado a las 24 horas, 72 horas y 7 días después del riego mostró que, al mantener una frecuencia superior a un riego semanal, los valores de humedad se encuentran dentro de la fracción de agotamiento crítico del 30%, clasificándose como Agua Fácilmente Aprovechable. Sin embargo, se comprobó que una frecuencia de un riego semanal (a los 7 días) resulta insuficiente para mantener el contenido de humedad en el rango óptimo.

### **RECOMENDACIONES**

1. Incrementar la frecuencia de mantenimiento del sistema de riego, enfocándose en la limpieza de filtros y el drenaje de los laterales para evitar la acumulación de sedimentos y mejorar la uniformidad de riego.
2. Programar el riego en intervalos ajustados al comportamiento de la humedad del suelo, siguiendo el criterio de riego a agotamiento crítico y reposición a capacidad de campo.
3. Incorporar tecnologías de monitoreo de humedad, como sensores, para realizar ajustes dinámicos en la duración y frecuencia del riego, maximizando la eficiencia del sistema.
4. Implementar capacitaciones para los agricultores sobre el manejo del sistema de riego por microaspersión y los beneficios del riego eficiente en el cultivo de pitahaya roja.

## BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, G., & López, C. (2017). Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica*. Obtenido de <https://aphapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/190>
- Barreiro Morcira, P. S., & Cheme Clevel, E. V. (2022). Estimación de la Huella Hídrica en Cultivos de Pitahaya (*Hylocereus undatus*) en CIIDEA ESPAM MFL. *Escuela Superior Politecnica Agropecuaria de Manabí Manuel Felix Lopez*. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8224327?show=full>
- Calderón, C. (Junio de 2019). *Estructuras Hidraulicas de Manabí*. Obtenido de <https://es.scribd.com/embeds/414419258/content>
- Chamba, D., Zubelzu, S., & Juana, L. (2020). Caracterización hidráulica del riego por goteo en campo. *Ingeniería del agua*. Obtenido de [https://watermark.silverchair.com/ia202012205.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW\\_Ercy7Dm3ZL\\_9Cf3qfKAc485ysgAAAwUwggMBBgkqhkiG9w0BBwagggLyMIIC7gIBADCCAucGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMfO-wFtlCrKWp2S-CAgEQgIIcuJ-8TxS9j44Xr80G8ct3VFjOs\\_oxuDBTsOK7qcxOvyz](https://watermark.silverchair.com/ia202012205.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAwUwggMBBgkqhkiG9w0BBwagggLyMIIC7gIBADCCAucGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMfO-wFtlCrKWp2S-CAgEQgIIcuJ-8TxS9j44Xr80G8ct3VFjOs_oxuDBTsOK7qcxOvyz)
- INEC. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2022/PPT\\_%20ESPAC\\_%202022\\_04.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf)

- Jaramillo, N. A. (2022). *Universidad Andina Simón Bolívar*. Obtenido de Maestría en Gerencia para el desarrollo-Quito: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8684>
- Jimenez, J. (2019). Funciones de R para graficar, clasificar y explorar los datos de textura del suelo. Obtenido de [https://cihh.utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2022/pdf/funciones\\_para\\_graficar\\_r.pdf](https://cihh.utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2022/pdf/funciones_para_graficar_r.pdf)
- Lama, F. (2023). ¿Qué es el sistema de riego por microaspersión? *Lama*. Obtenido de <https://www.lamastore.es/blog/riego-por-microaspersion/>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/176/17604304.pdf>
- Menéndez, J. (2022). *Capacidad auto depurativa del rio Carrizal sobre efluentes de la laguna de oxidación. Calceta*. Obtenido de Universidad Mayor de San Marcos.
- Muñoz, I. (2022). Modelacion de la Geometria del Bulbo de Mojado en Riego Por Goteo Superficial. *Universidad Autonoma Chapingo*. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/6c8f08ff-2b5f-4f96-9968-d4025003715f>
- Quiroz Zapata, E. D. (2022). Sistema de monitoreo de humedad de suelo para apoyo en toma de decisiones del riego tecnificado de pitahaya en Mochumí. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10754>

- Solis-Barreto, Y. L., Ponce-Castro, K. D., Chancay-Bermúdez, M. M., & Arauz-Carreño, Y. M. (2022). Oportunidades de Exportación Productos no Tradicionales: Caso de Estudio Producción de Pitahaya Roja de La Parroquia Puerto Cayo. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, Vol. 8(núm. 1), pp. 39-56. Obtenido de <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2557>
- Velásquez, Y. (2020). Uso del agua en Pitahaya (*Hylocereus undatus*), bajo diferentes condiciones de humedad, sombra y tamaño de esqueje. *Institucion de enseñanza e investigacion en ciencias agricolas*. Obtenido de [http://www.cm.colpos.mx/meteoro/tesishid/tesis/2020-08-Velazquez\\_Juarez\\_Yolanda-DC.pdf](http://www.cm.colpos.mx/meteoro/tesishid/tesis/2020-08-Velazquez_Juarez_Yolanda-DC.pdf)
- Verona, A., Urcia, J., & Paucar, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características físicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172020000300439](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000300439)
- Yadav, A., Dhakar, M., Arunachalam, A., Jha, S., Garg, S., Gangwar, N., . . . Kadam, D. (2023). Una revisión sobre el alcance de la adopción de iniciativas climáticamente inteligentes subutilizadas. *ÜBERSICHTSBEITRAG*. Obtenido de [file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/4H43TFUR/Art%C3%ADculo\\_con\\_datos\\_interesantes\\_sobre\\_demanda\\_de\\_agua\\_de\\_la\\_Pitahaya\\_\(2023\)\[1\].pdf](file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/4H43TFUR/Art%C3%ADculo_con_datos_interesantes_sobre_demanda_de_agua_de_la_Pitahaya_(2023)[1].pdf)



## ANEXOS

### Anexo 1. Perforación a estrato de 30 – 40 cm

*Figura 29. Perforación a estrato de 30 – 40 cm*



*Figura 30. Supervisión de la perforación a estrato de 30 – 40 cm*



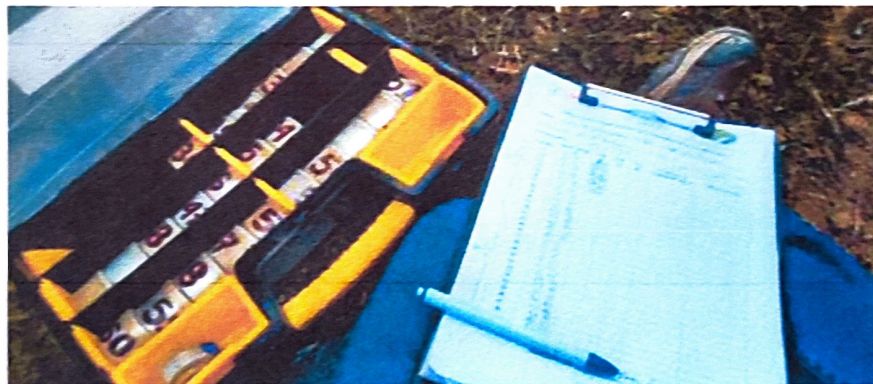


## Anexo 2. Toma de muestras

**Figura 31.** *Toma de muestra del estrato*



**Figura 292.** *Anotación de los pesos de las muestras húmedas*



**Figura 33.** *Muestras en proceso de secado*



**Figura 304.** *Pesado de muestras secas*



**Figura 35.** *Pesado de muestras secas*



**Figura 36.** *Anotación del peso de las muestras secas*





### Anexo 3. Medición caudal

**Figura 37.** *Proceso de Medición de Caudal*



**Figura 38.** *Proceso de Medición de Caudal*



**Figura 39.** *Plantas marcadas con cinta azul*



**Figura 40.** *Observación del primer punto a 50cm humedad superficial*





#### Anexo 4. Observaciones y resultados

**Figura 311.** *Observación del tercer punto a 50cm humedad superficial*



**Figura 322.** *Recorrido de los laterales de riego*



**Figura 333.** *Micro aspersor en funcionamiento*





## Anexo 5. Resultado de Capacidad de Campo

Tabla 8. Procesamiento de Datos para Capacidad de Campo

Cultivo: Pitahaya

Profundidad (cm)	No. Pesafiltro	P.S. Húmedo (g)	P.S. Seco (g)	Tara (g)	Humedad a CC (% PSS)
0-10	31	79,89	63,63	24,59	41,65
0-10	32	81,56	65,28	25,71	41,14
0-10	33	96,86	74,74	24,20	43,77
10-20	34	78,93	64,33	24,60	36,75
10-20	35	79,66	63,13	24,62	42,92
10-20	36	78,10	62,07	22,05	40,05
20-30	37	85,89	69,63	25,24	36,63
20-30	38	88,44	71,29	25,42	37,39
20-30	39	78,38	64,28	25,94	36,78
30-40	40	92,04	73,66	24,85	37,66
30-40	41	88,43	70,58	22,19	36,89
30-40	42	90,09	72,32	24,91	37,48
40-50	43	78,80	64,20	25,00	37,24
40-50	44	95,87	76,66	25,06	37,23
40-50	45	91,70	73,81	25,44	36,99
0-10	46	85,84	67,39	22,96	41,53
0-10	47	95,24	72,44	24,30	47,36
0-10	48	96,55	74,72	23,11	42,30
10-20	49	86,51	69,36	23,84	37,08
10-20	50	80,34	65,33	24,42	36,18
10-20	51	88,69	71,15	25,57	37,53
20-30	52	92,05	74,13	25,58	36,90
20-30	53	86,87	70,59	24,51	36,17
20-30	54	90,39	73,31	25,67	35,00
30-40	55	100,82	80,45	24,55	37,19
30-40	56	87,83	71,43	26,12	34,98
30-40	57	82,17	66,92	25,14	37,38
40-50	58	81,22	65,71	25,40	38,23
40-50	59	110,08	89,16	31,67	32,81
40-50	60	90,07	73,13	28,10	40,86

## Anexo 6. Resultado de Uniformidad del Riego

Tabla 9. Datos para análisis de Uniformidad de Caudal.

Lateral	Posición en Lateral	Emisor	Volumen medido (ml)	Tiempo de llenado (ss)	Caudal (l/h)	Promedio
L1	Inicio	1	250	30,00	30,0	30,0
L1	1/3	1	266	30,00	31,9	31,9
L1	2/3	1	275	30,00	33,0	33,0
L1	Final	1	339	30,00	40,7	40,7
L2	Inicio	1	329	30,00	39,5	39,5
L2	1/3	1	405	30,00	48,6	48,6
L2	2/3	1	313	30,00	37,6	37,6
L2	Final	1	340	30,00	40,8	40,8
L3	Inicio	1	481	30,00	57,7	57,7
L3	1/3	1	402	30,00	48,2	48,2
L3	2/3	1	405	30,00	48,6	48,6
L3	Final	1	364	30,00	43,7	43,7
L4	Inicio	1	432	30,00	51,8	51,8
L4	1/3	1	496	30,00	59,5	59,5
L4	2/3	1	290	30,00	34,8	34,8
L4	Final	1	306	30,00	36,7	36,7
<b>PROMEDIO</b>						<b>42,7</b>