



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agrícola

**Evaluación de un sistema de riego por aspersion en un predio del sector de San Bernabé,  
parroquia Tambo, cantón Catamayo.**

Trabajo de Integración Curricular previo  
al título de Ingeniera Agrícola

**AUTORA:**

Thalia Paulina Cango Soto

**DIRECTOR:**

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 19 de febrero de 2024

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de autoría de la estudiante **Thalia Paulina Cango Soto**, con cédula de identidad Nro. **1105559213**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Thalia Paulina Cango Soto**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1105559213

**Fecha:** 11/12/2024

**Correo electrónico:** [thalia.cango@unl.edu.ec](mailto:thalia.cango@unl.edu.ec)

**Teléfono o celular:** 0981723955

**Carta de autorización por parte de la autora para la consulta de producción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **Thalia Paulina Cango Soto**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de diciembre del año dos mil veinte y cuatro.



**Firma:**

**Autor:** Thalia Paulina Cango Soto

**Cédula:** 1105559213

**Dirección:** Nambacola, Loja, Ecuador

**Correo electrónico:** [thalia.cango@unl.edu.ec](mailto:thalia.cango@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0981723955

**Celular:** 0981723955

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg.Sc.

## **Dedicatoria**

Dedico mi trabajo especialmente a Dios, por bendecirme y guiarme cada día en mi formación profesional y permitirme alcanzar unas de mis metas propuestas.

Con mucho cariño a mis abuelitos Monfilio Cango y Clotario Soto por inculcarme siempre valores, aunque no se encuentran presentes físicamente, siempre están acompañándome desde el cielo y sé que estarán orgullosos al ver que logró cumplir una de mis metas propuestas.

Con mucho amor y admiración a mis abuelitas Maria Caraguay y Luz Pinta por ser mi mayor inspiración, por sus sabios consejos y por su apoyo incondicional brindado en mi vida, los cuales han sido mi orientación en esta etapa universitaria.

De manera especial, dedico este trabajo a mis queridos padres Augusto Cango y Maria Soto por todo el esfuerzo y sacrificio que realizaron, para poder terminar esta etapa profesional tan importante en mi vida, además por brindarme siempre su apoyo incondicional y por sus consejos para que siempre siga adelante y cumpla mis metas, de igual manera a mi hermana Marcia y hermano Cristian, los cuales siempre estuvieron conmigo y me motivaron a que continúe mis estudios.

A toda mi familia, quienes de alguna manera me brindaron su apoyo e impulsado a que siga siempre adelante y nunca me rinda, mediante sus palabras de aliento en todos estos años de mi etapa universitaria.

***Thalia Paulina Cango Soto***

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios, por brindarme salud, sabiduría y concederme las fuerzas necesarias para no desmayar y poder terminar esta etapa académica anhelada. De manera especial mi agradecimiento profundo a mis queridos padres quienes siempre estuvieron conmigo, brindándome su apoyo tanto económico como moral, con la finalidad que cumpla uno de mis objetivos planteados.

De igual manera mi gratitud a la Universidad Nacional de Loja, a la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y especialmente a la carrera de Ingeniería Agrícola y a cada uno de sus docentes por compartir sus conocimientos y brindarme su apoyo a lo largo de mi formación profesional.

Además, mi más sincero agradecimiento con el Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, director del trabajo de integración curricular, por aportar con sus valiosos conocimientos, brindarme su apoyo mutuo y por estar siempre dispuesto a despejar todas mis inquietudes en cuanto al desarrollo del presente trabajo, con la finalidad que se culmine de la mejor manera.

También quiero agradecer a las personas que me brindaron su valiosa ayuda, a los Ingenieros Jimmy Cordero y José Merino, por su voluntariosa colaboración en las salidas de campo y aportaciones valiosas en el desarrollo del presente proyecto. Asimismo, agradezco a los miembros del tribunal de grado, a los Ingenieros Manuel Hurtado y Pedro Guaya, por sus recomendaciones y sugerencias que contribuyeron a mejorar este trabajo de titulación.

Por otro parte, agradezco al propietario de la parcela del sector de San Bernabé, al señor Abel Carrión y a su esposa María Cueva, por permitirme realizar la evaluación del riego por aspersión en su propiedad y por su amabilidad brindada durante el trabajo en campo.

Por último, agradezco a todos mis familiares, compañeros de aula y amigos por sus palabras de aliento, que me motivaron a lograr esta meta.

***Thalia Paulina Cango Soto***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Riego.....	7
4.2. Métodos de riego.....	7
4.2.1. Riego por surcos.....	7
4.2.2. Riego por microaspersión.....	7
4.2.3. Riego por goteo.....	8
4.2.4. Riego por aspersión.....	8
4.3. Factores que influyen en la aplicación del agua en el riego por aspersión.....	8
4.4. Tipos de sistemas de riego por aspersión.....	9
4.4.1. Sistemas estacionarios.....	9
4.4.2. Sistemas de desplazamiento continuo.....	10
4.5. Componentes de un sistema de riego por aspersión.....	11
4.5.1. Fuente de agua.....	12

4.5.2. Fuente de energía .....	12
4.5.3. Tuberías.....	12
4.5.4. Aspersores.....	12
4.5.5. Accesorios.....	13
4.6. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.....	13
4.7. Evaluación de un sistema de riego por aspersión .....	14
4.7.1. Evaluación de los componentes de la instalación .....	14
4.7.2. Evaluación de la Uniformidad del Riego.....	14
4.7.3. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.....	15
4.7.4. Evaluación de los índices de grosor de la gota .....	16
4.7.5. Eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión.....	16
4.8. El suelo.....	16
4.8.1. Propiedades físicas del suelo .....	17
4.8.2. Curva de retención del agua en el suelo.....	19
4.8.3. Estados de agua en el suelo.....	19
4.8.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	20
4.8.5. Infiltración del agua en el suelo .....	21
4.9. Diseño Agronómico .....	21
4.9.1. Necesidades hídricas del cultivo .....	22
4.9.2. Parámetros del diseño del riego por aspersión.....	23
4.10. Diseño hidráulico .....	24
4.10.1. Pérdidas de cargas en tuberías .....	25
4.10.2. Velocidad de agua en las tuberías .....	25
4.10.3. Diseño de las tuberías .....	25
<b>5. Metodología .....</b>	<b>27</b>
5.1. Ubicación del lugar .....	27

5.2. Materiales.....	28
5.2.1. Materiales de campo .....	28
5.2.2. Materiales de laboratorio y equipos.....	28
5.2.3. Recursos tecnológicos.....	28
5.3. Metodología para el primer objetivo.....	29
5.3.1. Caracterización de los componentes de la instalación del sistema de riego por aspersión del predio del sector San Bernabé .....	29
5.3.2. Evaluación de la uniformidad de riego .....	29
5.3.3. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA).....	32
5.3.4. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).....	34
5.3.5. Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea) .....	34
5.4. Metodología para el segundo objetivo .....	35
5.4.1. Topografía del área de estudio .....	35
5.4.2. Constantes hidrofísicas del suelo .....	36
5.4.3. Diseño agronómico .....	38
5.4.3.1. Necesidades hídricas de los cultivos.....	39
5.4.3.2. Parámetros de riego.....	41
5.4.4. Diseño hidráulico .....	44
<b>6. Resultados.....</b>	<b>47</b>
6.1. Resultados para el primer objetivo.....	47
6.1.1. Caracterización de los componentes del sistema de riego .....	47
6.1.2. Estado actual del diseño del sistema de riego por aspersión.....	51
6.1.3. Uniformidad de distribución de la zona evaluada.....	53
6.1.4. Uniformidad de la instalación del sistema de riego .....	53
6.1.6. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA).....	54
6.1.7. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).....	54
6.1.8. Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea) .....	54

6.2. Resultados para el segundo objetivo.....	55
6.2.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión .....	55
6.2.2. Topografía del área de estudio .....	55
6.2.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	57
6.2.3.1. Curva de retención de humedad del suelo .....	57
6.2.3.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	57
6.2.3.3. Textura .....	58
6.2.3.4. Velocidad de infiltración.....	58
6.2.4. Diseño Agronómico para el riego por aspersión.....	58
6.2.5. Necesidades hídricas del cultivo .....	59
6.2.5.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	59
6.2.5.2. Coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ).....	59
6.2.5.3. Evapotranspiración del cultivo ET <sub>c</sub> .....	59
6.2.5.4. Precipitación efectiva.....	60
6.2.5.5. Requerimientos del riego para el cultivo de hierba luisa.....	60
6.2.5.6. Necesidades brutas de riego (N <sub>b</sub> ) .....	61
6.2.5.7. Selección de aspersores.....	61
6.2.5.8. Datos del suelo para el rediseño.....	63
6.2.5.9. Diseño agronómico .....	63
6.2.6. Planos del rediseño del sistema de riego por aspersión .....	64
6.2.7. Detalles constructivos del rediseño del sistema de riego por aspersión .....	67
6.2.8. Diseño hidráulico .....	70
6.2.8.1. Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego .....	70
6.2.8.2. Diseño de la tubería principal .....	71
6.2.9. Costos del sistema de riego por aspersión .....	72
<b>7. Discusión.....</b>	<b>74</b>

7.1. Evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé para el cultivo de hierba luisa ( <i>Cymbopogon citratus</i> ).....	74
7.2. Realizar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé .....	76
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>80</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>81</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>82</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>92</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Valores de densidad en relación a la textura del suelo... ..	18
<b>Tabla 2.</b> Interpretación de la uniformidad de distribución de la instalación .....	31
<b>Tabla 3.</b> Interpretación del coeficiente de uniformidad de Christiansen... ..	32
<b>Tabla 4.</b> Valores de filtración profunda conociendo el CU y admitiendo un déficit .....	35
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de la velocidad de infiltración básica .....	38
<b>Tabla 6.</b> Componentes del sistema de riego... ..	47
<b>Tabla 7.</b> Uniformidad de la zona evaluada .....	53
<b>Tabla 8.</b> Uniformidad de la instalación del sistema de riego... ..	53
<b>Tabla 9.</b> Coeficiente de uniformidad de Christiansen .....	53
<b>Tabla 10.</b> Pérdidas por evaporación y arrastre del viento .....	54
<b>Tabla 11.</b> Índice de grosor de gota de cada aspersor evaluado .....	54
<b>Tabla 12.</b> Eficiencia de aplicación del sistema de riego .....	55
<b>Tabla 13.</b> Valores para la evaluación de la condición física del suelo .....	57
<b>Tabla 14.</b> Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ).....	59
<b>Tabla 15.</b> Valores de K <sub>c</sub> del cultivo de hierba luisa .....	59
<b>Tabla 16.</b> Evapotranspiración del cultivo de hierba luisa .....	60
<b>Tabla 17.</b> Precipitación efectiva .....	60
<b>Tabla 18.</b> Requerimientos de riego para el cultivo de hierba luisa.....	61

<b>Tabla 19.</b> Necesidades brutas de riego .....	61
<b>Tabla 20.</b> Características del aspersor de círculo completo... ..	62
<b>Tabla 21.</b> Características del aspersor sectorial .....	63
<b>Tabla 22.</b> Características hidrofísicas del suelo.....	63
<b>Tabla 23.</b> Resultados del diseño agronómico .....	64
<b>Tabla 24.</b> Diseño hidráulico del sector de riego 1... ..	70
<b>Tabla 25.</b> Diseño hidráulico del sector de riego 2... ..	71
<b>Tabla 26.</b> Diseño hidráulico de la tubería principal .....	72
<b>Tabla 27.</b> Presupuesto del rediseño de riego por aspersión.....	72

### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de un sistema móvil de aspersión... ..	9
<b>Figura 2.</b> Sistema de aspersión semifijo con mangueras desplazables... ..	9
<b>Figura 3.</b> Sistema fijo de aspersión aéreo .....	10
<b>Figura 4.</b> Sistema de riego pivote o “pívot” .....	10
<b>Figura 5.</b> Sistema de riego lateral de avance frontal .....	11
<b>Figura 6.</b> Cañón de riego tipo enrollador .....	11
<b>Figura 7.</b> Diagrama triangular de las clases de textura según el USDA... ..	17
<b>Figura 8.</b> Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo .....	20
<b>Figura 9.</b> Ubicación de la zona de estudio... ..	27
<b>Figura 10.</b> Plano del diseño actual del sistema de riego por aspersión .....	52
<b>Figura 11.</b> Plano topográfico del predio .....	56
<b>Figura 12.</b> Curva de retención de humedad del suelo... ..	57
<b>Figura 13.</b> Relación de la clase textural y la proporción de la fracción del suelo .....	58
<b>Figura 14.</b> Plano del rediseño del sector de riego 1 .....	65
<b>Figura 15.</b> Plano del rediseño del sector de riego 2 .....	66
<b>Figura 16.</b> Detalles constructivos del cabezal principal y la salida de la tubería secundaria... ..	67
<b>Figura 17.</b> Detalles constructivos del hidrante, instalación del aspersor rain bird y cabezal de parcela.....	68

**Figura 18.** Detalles constructivos de salida de la tubería secundaria y derivación del módulo 2 de riego.....69

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Levantamiento topográfico del sistema de riego y del predio. ....	92
<b>Anexo 2.</b> Colocación de vasos pluviométricos en el predio. ....	92
<b>Anexo 3.</b> Medición del agua recogida en cada pluviómetro.....	92
<b>Anexo 4.</b> Medición de presiones de los aspersores evaluados. ....	93
<b>Anexo 5.</b> Aforo de caudal de los aspersores.....	93
<b>Anexo 6.</b> Datos de la uniformidad de riego. ....	93
<b>Anexo 7.</b> Datos del 25 % de los pluviómetros que menos volumen recogieron. ....	95
<b>Anexo 8.</b> Presiones de los aspersores evaluados. ....	95
<b>Anexo 9.</b> Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA).....	96
<b>Anexo 10.</b> Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).....	96
<b>Anexo 11.</b> Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea).....	98
<b>Anexo 12.</b> Toma de muestras del suelo. ....	99
<b>Anexo 13.</b> Prueba de infiltración. ....	100
<b>Anexo 14.</b> Datos de la prueba de infiltración. ....	100
<b>Anexo 15.</b> Velocidad de infiltración en el predio.....	100
<b>Anexo 16.</b> Determinación de textura .....	102
<b>Anexo 17.</b> Cálculo de textura .....	102
<b>Anexo 18.</b> Determinación de la textura en el triángulo textural.....	103
<b>Anexo 19.</b> Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo. ....	103
<b>Anexo 20.</b> Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman- Monteith.....	104
<b>Anexo 21.</b> Curva del Kc del cultivo de hierba luisa .....	104
<b>Anexo 22.</b> Características de los aspersores utilizados en el rediseño. ....	105
<b>Anexo 23.</b> Cálculos de los parámetros de riego del diseño agronómico. ....	106

<b>Anexo 24.</b> Cálculos del diseño hidráulico. ....	107
<b>Anexo 25.</b> Perfil longitudinal de la tubería principal. ....	114
<b>Anexo 26.</b> Certificado de traducción. ....	115

## **1. Título**

**Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del Sector de San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo.**

## 2. Resumen

La evaluación de la eficiencia del sistema de riego por aspersión se realizó en la parcela ubicada en el sector San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo, destinada al cultivo de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*). Donde se evidenció problemas significativos en la presión de trabajo para la distribución del agua, debido al incorrecto espaciamiento de aspersores, deficiente instalación de los laterales de riego y manejo inadecuado del riego. En cuanto a la metodología primero se realizó una inspección de los componentes del sistema de riego, luego se colocó 28 vasos pluviométricos dentro de un marco de riego (15 x 10 m) con seis aspersores, finalmente se registró las presiones de los aspersores y el caudal, lo que permitió determinar la eficiencia de aplicación del mismo. Los resultados mostraron valores de uniformidad de distribución e instalación de 66,54 % y 63,24 %, un coeficiente de uniformidad de Christiansen del 76,79 % valores por debajo de los estándares aceptables, con pérdidas por evaporación y arrastre del viento del 47,28 %, un índice de grosor de la gota de 12,00 y 23,34 y una eficiencia del 41,15 %. Con base en estos hallazgos, se propuso el rediseño del sistema de riego por aspersión para mejorar la distribución del agua y garantizar una adecuada eficiencia. Por lo tanto, en el diseño agronómico, se determinó una frecuencia de riego de 4 días y un tiempo 3 horas, para compensar una lámina de riego de 21,76 mm. En el diseño hidráulico, se estableció con tubería de PVC de 0,63 Mpa la conducción principal con tubería de diámetro nominal de 63 mm y la secundaria de 50 mm, los laterales de riego con tubería de polietileno de 0,40 Mpa de presión de 32 mm. El costo total del rediseño es de \$ 1768,34 para 0,36 hectáreas.

**Palabras claves:** Riego por aspersión, eficiencia del sistema de riego, cultivo de hierba luisa.

## **Abstract**

The evaluation of the efficiency of the sprinkler irrigation system was carried out in the plot located in the San Bernabé sector, Tambo parish, Catamayo canton, destined to the cultivation of lemon verbena (*Cymbopogon citratus*). Significant problems were evidenced in the working pressure for water distribution, due to incorrect sprinkler spacing, poor installation of the irrigation laterals and inadequate irrigation management. Regarding the methodology, first an inspection of the irrigation system components was carried out, then 28 pluviometric glasses were placed inside an irrigation frame (15 x 10 m) with six sprinklers, and finally the sprinkler pressures and flow rate were recorded, which allowed determining the efficiency of water application. The results showed distribution and installation uniformity values of 66.54 % and 63.24 %, a Christiansen uniformity coefficient of 76.79 % values below acceptable standards, with evaporation and wind-drag losses of 47.28 %, a droplet thickness index of 12.00 and 23.34 and an efficiency of 41.15 %. Based on these findings, the redesign of the sprinkler irrigation system was proposed to improve water distribution and ensure adequate efficiency. Therefore, in the agronomic design, an irrigation frequency of 4 days and a time of 3 hours was determined to compensate for an irrigation lamina of 21.76 mm. In the hydraulic design, the main conduction was established with 0.63 Mpa PVC pipe with a nominal diameter of 63 mm and the secondary one of 50 mm, the irrigation laterals with polyethylene pipe of 0.40 Mpa of 32 mm pressure. The total cost of the redesign is \$ 1768.34 for 0.36 hectares.

**Keywords:** sprinkler irrigation, irrigation system efficiency, lemon verbena crop.

### 3. Introducción

El riego es un componente esencial para lograr un rendimiento agrícola óptimo, ya que permite el uso más eficiente del agua, contribuyendo al bienestar socioeconómico de los agricultores (Poma y Chipana, 2016). Ante los desafíos del cambio climático, es necesario optimizar la gestión del agua, lo que incluye la planificación, operación y evaluación de los sistemas de riego para asegurar una distribución equitativa y eficiente (Selim et al., 2018; Ojeda et al., 2012).

A nivel global el riego por aspersión es una técnica ampliamente adoptada, por su capacidad para cubrir grandes áreas de terreno. La superficie del riego por aspersión en todo el mundo está cerca del 10 %, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados, debido a los altos costes de la mano de obra y bajos costos de energía (Pereira et al., 2010).

En el Ecuador el riego, en zonas de agricultura familiar campesina fomenta condiciones de equidad social, al permitir que estos productores, aumenten su producción, garanticen a nivel local la soberanía alimentaria y tengan ingresos económicos, que les permita tener una mejor calidad de vida (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2021). Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC (2022), en el país el riego tecnificado cubre aproximadamente 600 mil hectáreas, de estas 567 mil ha por aspersión, 31 mil ha pertenecen a sistemas de riego por goteo y 1,5 mil ha a sistemas nebulizados, lo cual evidencia que la técnica de riego más aplicada es la de aspersión (INEC, 2020). Es importante tener en cuenta que el riego por aspersión en varias regiones ha transformado la agricultura, en la provincia de Loja, donde la disponibilidad del agua es variable, este sistema permite a los agricultores tener una buena productividad de sus cultivos, mejorando la cantidad como la calidad de los productos agrícolas.

Los diversos factores que ocasionan una baja eficiencia de aplicación del agua de riego son: la selección inadecuada del aspersor, la uniformidad de distribución de agua del aspersor, las propiedades físicas del suelo, el diseño agronómico e hidráulico, la pendiente y el relieve del terreno, la operación del sistema de riego por la falta de conocimientos técnicos o experiencia del operador Flórez et al. (2013). Según Holzapfel et al. (2007), la eficiencia del riego por aspersión no solo depende de una buena distribución del agua, sino también de un adecuado diseño, es decir en la correcta selección de sus componentes principales como tuberías, aspersores y accesorios.

Debido a que el agua es un recurso cada vez más escaso y la energía que requieren los sistemas de riego presurizados es cada vez cara, los riegos deben ser eficientes con el fin de mantener o aumentar la productividad actual de los cultivos con una menor disponibilidad de agua y energía. Por lo tanto, la evaluación de los sistemas de riego en el campo, es importante ya que facilita comprender el funcionamiento y determinar criterios en el manejo, para mejorar los resultados del riego, sobre todo la eficiencia (Naroua et al., 2012).

En la parroquia el Tambo, perteneciente al cantón Catamayo, se ha implementado el riego parcelario tecnificado por aspersión, para el cultivo de hierba luisa y otros cultivos. Contribuyendo a mejorar las condiciones de vida de varios agricultores, que forman parte del sub proyecto del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Agricultura y Pesca (MAGAP), el cual mediante la Subsecretaría de Riego y Drenaje (SRD), asume el reto de apoyar a pequeños y medianos agricultores, con la finalidad que logren mejores niveles de desarrollo. Además, una de las actividades principales en la parroquia, es la comercialización de la hierba Luisa para la empresa de ILE, la cual adquiere su cosecha y la industrializa, para ello cada agricultor tiene un cupo de venta en la empresa, lo que convierte a este cultivo en una fuente importante de ingresos para la comunidad rural. Por lo tanto, mejorar el riego en el cultivo de hierba luisa, aumentara la producción del cultivo, los ingresos de los agricultores y la economía local. Además, al asegurar una aplicación eficiente del agua, el cultivo puede crecer de manera más saludable y productiva, obteniendo mayores rendimientos agrícolas.

Teniendo en cuenta la falta de estudios relacionados con la evaluación de sistemas de riego por aspersión en el sector y en vista que en el predio existen problemas como: incorrecto espaciamiento de aspersores, deficiente instalación de los laterales de riego en dirección a la pendiente del terreno y el manejo inadecuado del riego por parte del agricultor, quien aplica el riego por un tiempo de 8 horas, lo cual, ocasionan una mala distribución del agua en la parcela y por lo tanto, un bajo rendimiento del cultivo. Por lo mencionado, se realizó la evaluación del sistema de riego por aspersión en la parcela, con la finalidad de generar una propuesta que permita operar y mantener adecuadamente el área de riego. Para llevar a cabo la presente investigación se planteó los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Evaluar la situación actual del sistema de riego por aspersión en una parcela del sector de San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo para mejorar su operación y mantenimiento.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé para el cultivo de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*).
- Realizar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Riego**

Según Israelsen y Hansen (2021) el riego es la aplicación del agua al suelo, con la finalidad de abastecer al cultivo la humedad necesaria para su crecimiento. Es una práctica que requiere mejorar la eficiencia en la aplicación de agua, considerando la fracción del agua aplicada que es utilizada para satisfacer las necesidades del cultivo. Cuando se emplea un riego, no toda el agua queda retenida en la zona del suelo explorada por las raíces, sino que una parte se pierde por evaporación, escorrentía y percolación profunda, siendo así diferente cada tipo de pérdida conforme el sistema de riego (Montero, 2000).

El riego es la aplicación de agua suficiente y uniforme al perfil del suelo para restituir el agua consumida por las plantas entre dos riegos sucesivos. Un adecuado riego no es aquel que riega la superficie del suelo de manera uniforme, sino aquel que riega suficientemente el perfil del suelo hasta donde se ubica la mayor parte de las raíces de una planta. Cuando se riega de manera eficiente un cultivo agrícola, se ocasiona aumentos de rendimientos significativos en comparación a cultivos mal regados (Gurovich, 1985).

### **4.2. Métodos de riego**

Según Moreno (2019) un método de riego ejemplar se establece como un conjunto de piezas y estructuras, que pueden distribuir eficientemente el agua requerida. Deben instalarse con los menores costes de inversión, menor consumo energético y requiriendo pocas labores de mantenimiento. Dentro de los métodos más utilizados son:

#### **4.2.1. Riego por surcos**

El agua se mueve con la ayuda de gravedad, es decir el agua se mueve continuando la pendiente sin necesitar energía extra para efectuar el movimiento. Su calidad de riego se basa en la sistematización de la parcela y por lo tanto es necesario hacer un adecuado levantamiento planimétrico de la parcela a regar y un diseño adecuado de los surcos particularmente en orientación y en longitud (Ramos y Báez, 2013).

#### **4.2.2. Riego por microaspersión**

En este sistema de riego el agua se introduce en el suelo en gotas muy pequeñas. El diámetro de mojado que produce el micro aspersor es de unos 3 a 4 m. Este método de riego

es aconsejable para frutales, viveros y ciertas hortalizas. Necesita una presión de 1,6 kg/cm, más baja que el riego por aspersión (Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria, (INTA), 2014).

#### **4.2.3. Riego por goteo**

Este sistema se encarga de suministrar agua de forma localizada al cultivo, mediante goteros o emisores. Es decir, este sistema es bueno para la mayoría de plantas, ya que, al concentrar el abastecimiento del agua en un único punto, de esta manera la planta obtiene el agua que realmente necesita y así evita un consumo excesivo. Este sistema tiene una forma de riego de manera individual o solo para un grupo de plantas, no se puede utilizar para riego de toda la parcela (Andrade, 2018).

#### **4.2.4. Riego por aspersión**

Este método de riego se diferencia por la aplicación de agua en la parcela con la finalidad que el agua se infiltre donde cae. La aplicación de agua con un aspersor consiste en una rápida pulverización de agua, la cual se esparce en el aire y se extiende por el suelo con el fin de distribuir el agua de manera uniforme (Ruiz, 2010). Por otra parte, para que el sistema tenga un adecuado funcionamiento es importante realizar un monitoreo de la eficiencia y la repartición de la lámina de agua en la parcela (Poma y Chipana, 2016).

Es utilizado en grandes extensiones arrojando un elevado volumen de agua equilibrada y uniforme en modo de lluvia. Por lo cual cubre toda la superficie y es apropiado para automatizar la operación. Los sistemas de riego por aspersión al ser diseñados con una tasa de aplicación inferior o igual a la tasa de infiltración básica del suelo, se deberá realizar un control adecuado en la cantidad y en la aplicación de la tasa del agua (Andrade, 2018).

### **4.3. Factores que influyen en la aplicación del agua en el riego por aspersión**

El riego por aspersión, diseñado para imitar la lluvia natural, requiere de una adecuada presión de trabajo y distribución de los aspersores para asegurar una cobertura uniforme (Cardozo y Díaz, 2014). Factores como la velocidad y dirección del viento pueden alterar la uniformidad del riego, incrementando las pérdidas de agua por evaporación y arrastre (Montero, 2000). Por lo tanto, es fundamental considerar estos elementos en el diseño y operación de los sistemas de riego para maximizar la eficiencia de la aplicación (Tarjuelo,1991).

#### 4.4. Tipos de sistemas de riego por aspersión

Según Fernández et al., (2010) los sistemas de riego por aspersión se pueden dividir, de acuerdo al grado de movilidad de los diferentes componentes que conforman el sistema, facilitando así la comprensión del funcionamiento y por lo tanto brindar una idea clara en cuanto a los costos e inversiones a realizar. Los cuales se clasifican en:

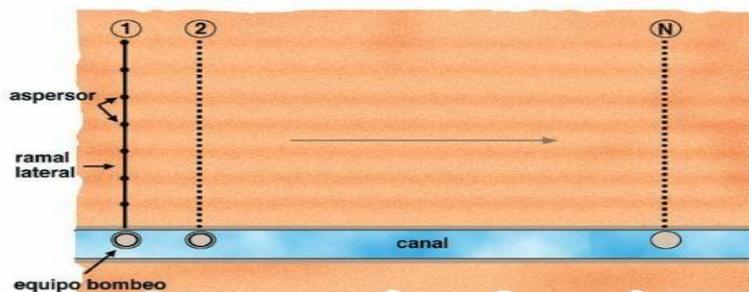
##### 4.4.1. *Sistemas estacionarios*

Son aquellos que se mantienen fijos durante el riego. Por lo cual se pueden clasificar en móviles, semifijos y fijos.

**Móviles:** son aquellos en que todas sus partes son móviles, como las tuberías primarias, secundarias y terciarias. Además, a estos sistemas se los puede emplear en parcelas pequeñas o para otorgar riegos complementarios.

#### Figura 1.

*Esquema de un sistema móvil de aspersión*



**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

**Semifijos:** son aquellos que habitualmente los equipos de bombeo y la red principal de tuberías son fijos, los cuales suelen estar enterrados. Al existir tuberías tanto secundarias como terciarias de igual manera irían enterradas.

#### Figura 2.

*Sistema de aspersión semifijo con mangueras desplazables*

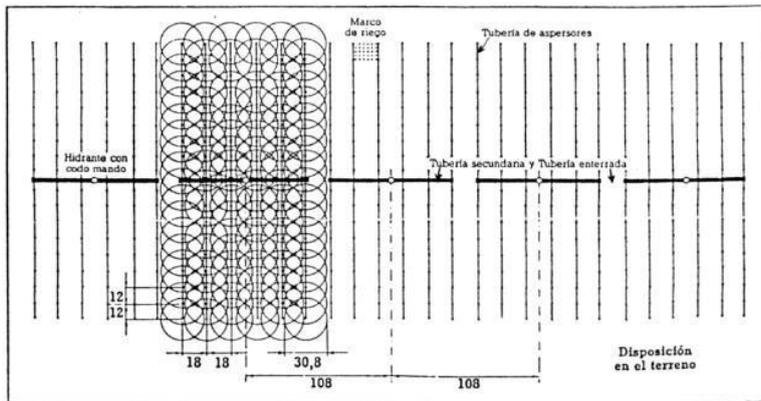


**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

**Fijos:** son aquellos en donde todas las tuberías son fijas, moviéndose solo los tubos porta-aspersores y los aspersores. Así mismo estos sistemas son de cobertura completa donde los aspersores riegan toda la superficie.

**Figura 3.**

*Sistema fijo de aspersión aéreo*



**Fuente:** (Tarjuelo, 1991)

#### 4.4.2. *Sistemas de desplazamiento continuo*

Son aquellos que están en movimiento durante el riego. Dentro de los más principales están los pivotes, los laterales de avance frontal y los cañones enrolladores.

**Pivotes:** son aquellos equipos autopropulsados, que están compuestos principalmente por una estructura metálica que sostiene la tubería con los emisores.

**Figura 4.**

*Sistema de riego pivote o "pívot"*



**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

**Laterales de avance frontal:** se basa en un ala de riego que se mueve mojando superficies de manera rectangular.

## Figura 5.

*Sistema de riego lateral de avance frontal*



**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

**Cañones de riego:** usa aspersores de mayor tamaño, llamados cañones que funcionan a elevadas presiones y riegan amplias áreas del terreno. Este equipo siempre está amortiguado hacia atrás respecto al sentido de la marcha, garantizando así su movimiento en el suelo.

## Figura 6.

*Cañón de riego tipo enrollador*



**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

### 4.5. Componentes de un sistema de riego por aspersión

Los componentes de un sistema de riego por aspersión en el campo, se pueden encontrar fijos o pueden estar solamente cuando se efectúa el riego, además pueden ser completamente móviles con la finalidad de ser trasladados de una parte a otra del terreno, por lo que todo depende del uso y de las características que presente el proyecto (Villacís 2012).

Según Cadena (2016) un sistema de riego por aspersión está integrado por los siguientes componentes:

#### **4.5.1. Fuente de agua**

En un sistema de riego por aspersión la fuente de agua es un componente principal, ya que se requiere de un caudal constante, que puede originarse a partir de una fuente superficial o subterránea, donde se debe tener en cuenta su ubicación, ya que los factores que afectaran en el diseño son: el desnivel, la distancia y los incidentes topográficos entre la fuente de agua y la parcela a regar.

#### **4.5.2. Fuente de energía**

Para funcionar los sistemas de riego por aspersión, requieren de una presión para poder distribuir el agua hacia las plantas, a través de los emisores. Esta presión puede generarse utilizando bombas, las cuales constan de un motor que genera una fuerza, para que el agua llegue hacia el cultivo. También, se puede obtener presión, cuando existe un desnivel en el terreno y la fuente de agua se encuentra a una cota mayor a la parcela que se va regar, lo que permite el agua se va mueva por acción de la gravedad.

#### **4.5.3. Tuberías**

Para poder distribuir el agua un sistema de riego está compuesto por tuberías principales, secundarias y laterales de riego: las tuberías principales son una red de tuberías encargadas de llevar el agua hasta los hidrantes, que son los puntos de agua en la parcela a regar. Este tipo de tuberías por lo regular suelen ser fijas, a pesar de que en varias ocasiones son móviles, suelen estar enterradas y están fabricadas de diversos materiales como el fibrocemento, hierro, etc. En cambio, las tuberías secundarias son las encargadas de conducir el agua a partir de la tubería principal hasta las derivaciones o salidas de las tuberías laterales. Finalmente, las tuberías laterales son aquellas que se encargan de llevar el agua hasta los aspersores instalados en el terreno que se quiere regar.

#### **4.5.4. Aspersores**

En el sistema de riego por aspersión, los aspersores son uno de los componentes más principales, ya que son los encargados de repartir el agua sobre los cultivos en forma de lluvia, además estos emisores trabajan a presión y se ubican sobre los elevadores, los cuales sirven de unión con la tubería lateral.

Según Mena (2014) los emisores son aquellos responsables de aplicar el agua en modo de lluvia. Por lo general estos se pueden clasificar según el tipo de aspersores:

**Según el mecanismo de giro:** pueden ser aspersores de impacto, los cuales se los utiliza más en la agricultura, su velocidad de rotación es pequeña y pueden disponer de una o diversas boquillas. Además, pueden ser aspersores de turbina, donde el uso es reducido en la agricultura, se los utiliza más en la jardinería, tienen mayor tamaño y trabajan con elevadas presiones suministrando elevados caudales. Por otra parte, están los aspersores rotativos que disponen de una o diversas boquillas. Se utilizan más en jardinería, horticultura, etc.

**Según su área mojada:** pueden ser aspersores circulares y sectoriales. Los aspersores circulares son los que riegan una superficie de suelo de manera circular. Mientras que los aspersores sectoriales giran solo en un sector circular en vez de efectuar el círculo completo.

**Según la presión de trabajo:** pueden ser de baja presión que trabajan con presiones inferiores a  $2.5 \text{ kg/cm}^2$ . De media presión que trabajan con una presión entre  $2.5$  y  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Y los de alta presión efectúan su trabajo con presiones mayores a los  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **4.5.5. Accesorios**

Para una instalación de un sistema de riego, se requiere de varios accesorios, los cuales son implementos, encargados de la conducción y distribución de agua, además se encargan de controlar el sistema. Dentro de los más importantes tenemos: los hidrantes, las válvulas, las ventosas, los filtros, los reguladores de presión, los medidores de presión, los medidores de flujo y las conexiones como: codos, uniones, entre otros.

### **4.6. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión**

#### ***Ventajas***

Según Subirós (1995) las ventajas y desventajas al contar con un sistema de riego por aspersión son las siguientes :

- La eficiencia del uso del agua es elevada en comparación con el sistema de gravedad (entre el 80 y el 85%).
- El sistema permite un adecuado control de la lámina de agua que va a aplicarse.
- Se emplea en áreas con topografía irregular.
- El diseño del sistema permite que sea ajustado conforme a la disponibilidad de agua.
- Se evita la formación del lodo y la erosión que pueden estorbar la ejecución de otras labores.
- No necesita de bastante mano de obra para la operación.

## ***Desventajas***

- Altos costos de instalación, operación y mantenimiento.
- Es reducido en zonas con viento fuerte y con inferior humedad relativa. La máxima velocidad del viento provoca desuniformidad del riego, ocasionando un crecimiento desigual del cultivo.
- Puede aumentar la aparición de hierbas malas, por el motivo de la humedad.

### **4.7. Evaluación de un sistema de riego por aspersión**

La evaluación de un sistema de riego por aspersión en campo facilita conocer el funcionamiento y poder determinar criterios de manejo que mejoren la eficiencia y los resultados del riego. Por otra parte, la evaluación facilita encontrar su eficiencia de aplicación de agua, la cual está relacionada con la uniformidad de aplicación del agua, las pérdidas por filtración profunda, las pérdidas por evaporación y arrastre y otras posibles pérdidas producidas durante transporte del agua en las conducciones, desde el punto de toma en la parcela hasta su descarga por unidad de riego (Naroua et al., 2012).

Según Suarez y Ortega (2010) la evaluación de un sistema de riego por aspersión es un proceso que permite saber si la instalación y su uso cumplen las condiciones requeridas para regar correctamente. Es decir, satisfacer los requerimientos de los cultivos para obtener la máxima producción reduciendo la pérdida de agua.

#### ***4.7.1. Evaluación de los componentes de la instalación***

La evaluación de los componentes de la instalación se basa en verificar los diferentes elementos que está compuesto un sistema, como tuberías, accesorios, emisores porta aspersores válvulas etc. Con la finalidad de saber en qué condiciones se encuentran cada uno de los componentes que conforman la instalación y además permite saber si el funcionamiento es el adecuado (Fernández et al., 2010).

#### ***4.7.2. Evaluación de la Uniformidad del Riego***

La uniformidad en la distribución es fundamental debido a los efectos y a las pérdidas de agua que se originan, teniendo una mayor influencia en la eficiencia del riego. Para tener una buena uniformidad la distancia entre los aspersores debe facilitar un recubrimiento adecuado de las áreas mojadas. Una baja uniformidad de un sistema de riego por aspersión hace que exista un exceso de agua en el suelo y en otras zonas escasas. Es decir, con una baja uniformidad será complicado obtener una producción satisfactoria (De la Cruz, 2015).

La uniformidad de la aplicación del agua depende fundamentalmente, en gran medida del patrón de repartición del agua del aspersor y de la ubicación de los aspersores en el campo. El viento es un factor principal que permite la alteración de reparto de la uniformidad. Además, se puede tener en cuenta otros factores como la altura del aspersor en el terreno, la duración del riego. Para tener una elevada uniformidad de aplicación de la lluvia, originada por los aspersores, es importante que haya un solape de la parcela mojada por los próximos entre sí. Por este motivo la selección del marco de riego es importante (Ramos y Báez, 2013).

➤ ***Uniformidad de distribución e Uniformidad de instalación***

Según Sapir (2005) citado en Durand (2017) menciona que la uniformidad de distribución del agua es un factor principal para tener una buena producción agrícola. Una distribución incorrecta puede ocasionar el desarrollo desigual del cultivo, con unas plantas pequeñas y otras creciendo vigorosamente en una parcela, además se puede ocasionar el encharcamiento en un parte de la parcela y la asfixia de las raíces a causa de una escasa aireación.

Conocer la uniformidad de la instalación es importante, para poder detectar problemas en la red de distribución, por lo cual uno de los principales parámetros en el mantenimiento de una instalación de riego, es la evaluación y comprobación de la uniformidad de la instalación (Moratiel,2017). Según Fernández et al., (2010) mencionan que la uniformidad de la instalación, tiene en cuenta la variación de presiones, en las distintas cotas de la parcela, que son ocasionadas por la pendiente que presenta el terreno.

➤ ***Coefficiente de Uniformidad de Christiansen***

El coeficiente de uniformidad de Christiansen, es el más usado en los sistemas de riego por aspersión para determinar la homogeneidad del riego, el cual es una representación estadística de la uniformidad del riego que se expresa en porcentaje. Por lo tanto, el CU nos facilita conocer si el agua se está aplicando de modo uniforme a través del campo durante el riego (Gutiérrez y Díaz, 2016).

Fuentes (2003) menciona que, con un CU mayor, se logra una alta uniformidad en la distribución del riego y una elevada eficiencia del riego, aumentando la producción de los cultivos. Es decir, todas las áreas del campo, reciben una cantidad de riego igual, obteniendo una eficiencia de riego mejorada.

**4.7.3. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento**

Dentro este método no toda el agua que expanden los aspersores llega al suelo debido a que una parte se pierde por evaporación el transcurso del viaje. En este trayecto las gotas de

agua fluyen hacia el suelo y otra parte se pierde por arrastre fuera del área que se cultiva. Por lo tanto, uno de los mayores problemas del riego por aspersión son las pérdidas por evaporación y arrastre (Stambouli et al., 2011). Según Playán et al., (2005) las pérdidas por evaporación y arrastre dependen en mayor parte del tipo de sistema de riego por aspersión (estacionario o móvil) y de las condiciones ambientales.

En un sistema de riego por aspersión adecuadamente diseñado y manejado las pérdidas de agua más considerables son las originadas por la evaporación y arrastre por el viento. El agua sale de los emisores a mayor velocidad que se quiebran ocasionando gotas de varios diámetros que se esparcen en el aire y descienden en el suelo a diferentes distancias del emisor. Las gotas más gruesas se deslizan más lejos y en cambio las gotas más finas caen más cerca del aspersor (Faci et al., 2006).

#### ***4.7.4. Evaluación de los índices de grosor de la gota***

El tamaño de las gotas de agua de los aspersores afecta de diversas maneras al chocar sobre el suelo y con los cultivos. Las gotas grandes de agua pueden erosionar el suelo debido a la energía cinética, mientras que las gotas de agua pequeñas son arrastradas más fácilmente, especialmente en áreas de fuertes vientos, lo que puede afectar la uniformidad y la eficiencia del riego. Es decir a medida que incrementa la presión y el diámetro de las boquillas se aumenta el tamaño de las gotas, representado por el índice de grosor de gota (Tarjuelo et al., 2000, citado por Bonet et al., 2022).

#### ***4.7.5. Eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión***

La eficiencia de aplicación del riego, es el rendimiento y la proporción del agua aplicada la cual queda retenida en la zona radicular del cultivo. En un riego individual en aspersión la eficiencia de aplicación se refiere a la proporción del agua arrojada por los aspersores, la misma que queda almacenada en la zona radicular del cultivo. Además, el uso eficiente del agua en los regadíos por aspersión necesita que los sistemas de riego se encuentren adecuadamente diseñados y así mismo se encuentren operados de manera óptima (Faci et al., 2006). Según Zuñiga (2004) la eficiencia del riego en un sistema por aspersión se determina teniendo en cuenta el coeficiente de uniformidad.

### **4.8. El suelo**

Según Arias (2001), el suelo facilita a las raíces extenderse en profundidad como en sentido lateral, con la finalidad de que las plantas soporten el viento y las sequías. Además, el

suelo es el encargado de proporcionar agua y minerales a las plantas, los mismos que son absorbidos por las raíces y son dirigidos a todas las partes de la planta, a pesar de que la gran cantidad de agua consumida, se desperdicia por la transpiración.

El suelo es un depósito de agua, el cual no debe lograr llenarse hasta un nivel máximo, conocido por su capacidad de campo y no puede vaciarse por debajo de un determinado nivel medido por su punto de marchitez (Albert, 2015).

#### 4.8.1. *Propiedades físicas del suelo*

Arias (2001), menciona que las propiedades físicas varían de acuerdo a las condiciones del clima y de acuerdo al manejo del suelo que el ser humano le esté dando, por otro lado, estas propiedades pueden ser modificadas por los animales mediante la labranza o pisoteo, además dichas propiedades propician el paso del aire, calor y agua en el suelo. Las propiedades físicas del suelo son aquellas que se encuentran conformando principalmente la estructura del suelo y sirven de soporte para los cultivos (Guerra y Lozano, 2014).

##### ➤ **Textura**

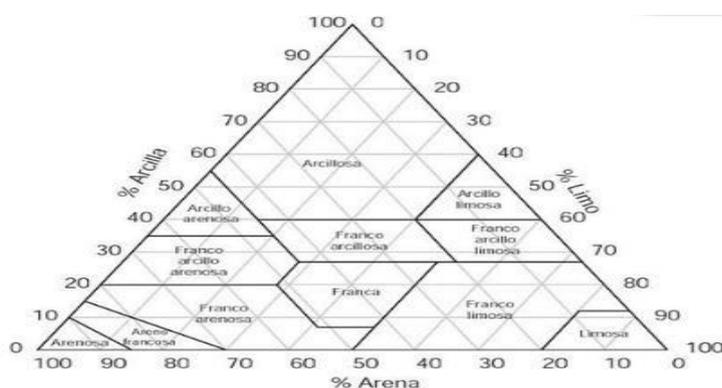
Según Guerra y Lozano (2014) establecen que la textura se refiere a la composición mineral del suelo, se expone en partículas pequeñas y su porcentaje establece la distribución del tamaño de las partículas del suelo. Un suelo óptimo y fértil debe tener una óptima cantidad de arena, arcilla y limo. De acuerdo al tamaño de diferentes partículas granulométricas, se diferencian dos tipos:

*Elementos gruesos*- con un diámetro aparente mayor a 2 mm, dentro de los cuales tenemos bloques, cantos rodados, grava gruesa y media.

*Elementos finos*: con un diámetro menor a 2 mm, como la arena, limo y arcilla.

**Figura 7.**

*Diagrama triangular de las clases de textura según el USDA.*



**Fuente:** (Navarro, 2013)

### ➤ Estructura

Se refiere al orden de las partículas, disgregadas en un horizonte. El ordenamiento estructural se encuentra relacionado con el contenido en arcillas. Por lo tanto, en suelos arenosos o limosos no existe un ordenamiento estructural del suelo. La ordenación de partículas individuales para formar unidades mayores recibe el nombre de estructura del suelo, y resulta de la tendencia que experimentan las partículas más finas como la arcilla y el humus, a unirse entre sí (Thompson y Troeh, 2021).

La estructura del suelo influye directamente en casi todos los factores de crecimiento de las plantas: suministro de agua, aireación, disponibilidad de nutrientes, calor, penetración de la raíz y actividad microbiana (Pérez, 2020).

### ➤ Porosidad

Se refiere a la cantidad de huecos presentes con respecto al volumen total del suelo. De esta manera la porosidad puede dividirse en:

*Macroporosidad:* son poros de tamaño grande, los cuales existe la posibilidad que se ocupen de agua y aire.

*Microporosidad:* son poros de tamaño pequeño, que se llenan de agua.

Un suelo de textura arenosa presenta una baja porosidad, por lo cual existen más macroporos que microporos. En cambio, en suelos arcillosos presentan una alta porosidad y existen más microporos que macroporos (Guerra y Lozano 2014).

### ➤ La densidad

Es la masa comprendida en una unidad de volumen de una muestra de suelo, donde se puede tener en cuenta el volumen ocupado por los poros. De acuerdo a la textura y estructura la densidad aparente de los suelos cambia. La importancia de la determinación de la densidad aparente radica en que brinda información con respecto a la compactación y permite inferir posibles dificultades de enraizamiento y circulación del agua y aire en el suelo (Pérez, 2020).

**Tabla 1.**

*Valores de densidad en relación a la textura del suelo*

<b>Textura</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arenoso	1,50 - 1,80
Franco arenoso	1,40 - 1,60
Franco	1,30 – 1,50
Franco arcilloso	1,30 – 1,40
Arcilloso	1,20 – 1,30

**Fuente:** (Fuentes, 2003)

➤ **Consistencia**

Se refiere a la resistencia que el suelo tiene a la introducción de las raíces y a la labranza del suelo. Es una propiedad física que gobierna las fuerzas que proporcionan que se encuentren unidas las partículas. Además, se puede decir que es la resistencia que brinda la masa del suelo contra fuerzas externas. Las fuerzas que ocasionan la consistencia son, la cohesión y adhesión, las cuales son las responsables de la resistencia del suelo (Cevallos, 2012).

**4.8.2. Curva de retención del agua en el suelo.**

Las curvas de retención del suelo indican la relación actual entre el contenido de humedad y su potencial matricial. Así mismo expresan la capacidad que tiene un suelo para conservar agua tomando en cuenta la succión y son importantes para poder programar el riego (Vélez, 2014).

**4.8.3. Estados de agua en el suelo**

- **Saturación:** un suelo está totalmente saturado cuando todos sus poros se encuentran cubiertos por agua. Esto ocurre luego de una lluvia o a partir de un riego abundante (Fuentes, 2003).
- **Capacidad de campo:** un suelo se encuentra a capacidad de campo, cuando el suelo ya no pierde agua por gravedad. En este caso el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa la mayor parte del espacio de poros grandes. En suelos bien drenados la capacidad de campo se logra a los 2 o 3 días, luego de una lluvia copiosa. En suelos de textura arenosa se determina mejor la capacidad de campo que en los de textura arcillosa, debido al gran número de macro-poros, por lo cual el final del drenaje es más evidente (Fuentes, 2003).
- **Punto de marchitez permanente:** un suelo se encuentra en punto de marchitez cuando llega un momento en que los cultivos ya no pueden absorber toda el agua que necesitan y se marchitan. Esto es debido a que a partir de la capacidad de campo el agua del suelo desaparece paulatinamente por evaporación y absorbida por los cultivos. Se estima que el punto de marchitez permanente se logra cuando la tensión matricial es de 15 atmósferas (Fuentes, 2003).
- **Umbral de Riego (UR):** en el suelo los poros que se encuentran llenos de aire forman la porosidad de aireación, la cual es importante para la difusión de oxígeno a las raíces. Una porosidad de aireación superior al 10-15 % es adecuada para el desarrollo de los cultivos (Valarezo et al., 1998).

- **Capacidad de agua disponible:** se refiere a la cantidad de agua disponible para el desarrollo de los cultivos, la misma que se encuentra entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Shaxson et al., 1995).
- **Capacidad de aireación:** conocida también como agua fácilmente aprovechable, siendo la cantidad de agua que la planta puede extraer sin ningún impedimento, lo que constituye la cantidad de agua fácilmente disponible, por tal razón se considera que el UR es la mitad de la diferencia de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se expresa como un porcentaje de humedad total que el cultivo puede utilizar sin reducir su producción (Ojeda et al., 2018).

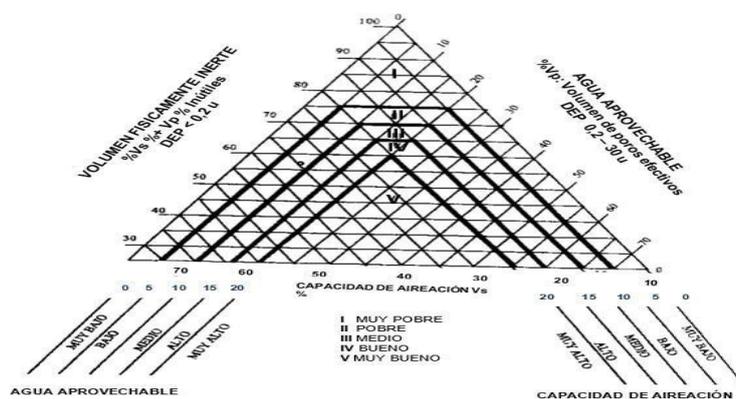
#### 4.8.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Según Claudharry et al. (1985), citado en Pernet (2006), un suelo que presenta buenas condiciones físicas, facilita un oportuno suministro de agua y aire, además permite la absorción de nutrimentos por medio de las plantas, asegurando el crecimiento de las raíces. En cambio, al presentar un suelo inadecuadas condiciones físicas, se ocasiona un impedimento mecánico, el cual se resiste a la penetración de las raíces, con una baja macroporosidad, lo que provoca humedad en exceso y falta de oxígeno, afectando en el crecimiento y producción de los cultivos.

De acuerdo con Valarezo et al. (1998), para evaluar la condición física del suelo en relación al crecimiento de las plantas, se debe tener en cuenta la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo como: sólida, líquida y gaseosa; por lo tanto, para la clasificación se emplea el diagrama triangular que se indica en la Figura 8:

**Figura 8.**

*Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo*



**Fuente:** Valarezo et al. (1998)

#### **4.8.5. Infiltración del agua en el suelo**

La infiltración del agua en el suelo es el proceso donde el agua a través de la superficie de la tierra ingresa en el suelo. En la ciencia del suelo, la tasa de infiltración es la capacidad del suelo para absorber la lluvia o el riego. Se mide en milímetros por hora. La capacidad de infiltración depende de cómo se lo trate al suelo, es decir cuando un suelo es bastante trabajado con herramientas que puedan compactarlo este pierde su capacidad de infiltración, tardándose así más en infiltrarse el agua (Úbeda y Delgado, 2018).

Según Horton (1933) citado por Peñaloza (2009) menciona que la capacidad de infiltración es una propiedad física del suelo, que cambia entre un valor máximo cuando el suelo se encuentra seco y un valor mínimo para un suelo húmedo y compactado.

##### **➤ Infiltración acumulada**

La infiltración acumulada considera la suma de los valores precisos de la infiltración logrados de la curva de velocidad de infiltración instantánea. Su ecuación se la obtiene estableciendo el área formada por la curva y los ejes. La ecuación empírica de infiltración sugerida por Kostiaikov es muy útil y práctica en riego. Los límites en los que esta ecuación se considera valores fiables están entre 25 y 125 mm de infiltración acumulada, lo que es bastante compatible con el manejo del riego, especialmente por superficie (Delgadillo y Pérez, 2016).

##### **➤ Velocidad de infiltración básica**

Al comienzo al aplicar agua el valor de infiltración es alto, y en el transcurso aumenta el contenido de agua del suelo, disminuyendo así gradualmente hasta obtener un valor constante, conocido como velocidad de infiltración básica. Particularmente este estado de infiltración se alcanza cuando el suelo ha logrado su capacidad de campo. La tasa de infiltración básica depende en gran medida del tipo de textura del suelo, de esta manera el tiempo para lograr esta velocidad y su valor dependerá de la textura. Encontrar el valor de la velocidad de infiltración básica es fundamental por la aplicación directa en el diseño y cálculos de riego por aspersión (Delgadillo y Pérez, 2016).

#### **4.9. Diseño Agronómico**

Aguinsaca (2020) citado por Caiza y Cuchiye (2022) menciona que, para realizar un diseño agronómico, primero se debe tener en cuenta varias condiciones como: la topografía que presenta el terreno, propiedades edafológicas, agronómicas, hidrológicas y el clima de la superficie de estudio. Por otro lado, Camejo et al. (2017) establecen que terminada la instalación de una unidad riego, el diseño agronómico puede variar de acuerdo a los factores

que presente el lugar. Según Fuentes (2003) indica que el objetivo del diseño agronómico es suministrar la cantidad de agua adecuada en la instalación, además se presenta en dos etapas:

- Determinación de las necesidades de riego.
- Cálculo de los parámetros de riego: dosis, frecuencia de riego, caudal importante, tiempo de riego, cantidad de emisores y colocación de los mismos.

#### **4.9.1. Necesidades hídricas del cultivo**

Según Moratiel (2015) las necesidades hídricas de un cultivo se definen como la cantidad de agua requerida para compensar las pérdidas por evapotranspiración. Por otro lado, la demanda de agua de un cultivo es la cantidad de agua que debe ser suministrada mediante riego o precipitación para mantener un nivel óptimo de evapotranspiración.

##### ➤ **Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

More (2021), menciona que la evapotranspiración de referencia es el total de agua que se origina por la evaporación, desde la superficie del terreno y la transpiración de las plantas. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo (día, mes y año). Un componente básico para calcular los requerimientos de agua de los cultivos y un elemento importante para ejecutar una adecuada gestión del riego es la evapotranspiración de referencia.

##### ➤ **Coefficiente de cultivo (K<sub>c</sub>)**

Fuentes (2003), destaca que el coeficiente del cultivo se basa en las características de la planta y en la variación de su capacidad para absorber el agua del suelo, a lo largo de su periodo vegetativo. La variación es más notable en cultivos anuales, donde su periodo vegetativo es menor a un año. En este tipo de cultivos se puede diferenciar cuatro etapas durante el ciclo vegetativo:

Primera etapa: comprende desde la siembra hasta que el cultivo se encuentra establecido, cubriendo un 10 %, del área del suelo.

Segunda etapa: se refiere a la etapa de desarrollo del cultivo, comprendida desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo, cubra el área del suelo del 70 – 80 %.

Tercera etapa: abarca desde de la etapa final anterior hasta el inicio de la maduración del cultivo, el cual se aprecia por la vejez del follaje.

Cuarta etapa: es la última etapa del período vegetativo, comprendida desde la etapa final anterior hasta la madurez del cultivo.

➤ **Evapotranspiración del cultivo ETc**

Fuentes (2003), menciona que la evapotranspiración del cultivo ETc, es la tasa de evaporación de un cultivo libre de enfermedades en un suelo rico con micro y macronutrientes y con una buena humedad. La ETc se puede determinar de una manera directa e indirecta, el modo directo es mediante lisímetros y el indirecto es mediante ecuaciones empíricas, al multiplicar la ETo por el Kc del cultivo.

➤ **Precipitación efectiva**

Según Dastane 1978 citado por Cleves et al. (2016) la precipitación efectiva se conoce como la cantidad de agua aprovechable, la cual forma parte de la lluvia total que satisface de manera directa las necesidades hídricas de las plantas. Es la cantidad de precipitación total, la cual queda retenida en la capa radicular de los cultivos y se utiliza para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas (Fuentes, 2003).

**4.9.2. Parámetros del diseño del riego por aspersión**

➤ **Lámina de agua aprovechable (LAA)**

La lámina de agua aprovechable es la proporción de agua que puede acumular un suelo a una profundidad establecida según el cultivo, la cual es delimitada entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Legarda et al., 1999).

➤ **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**

Maldonado 2001 citado por Campoverde (2018) menciona que la lámina de agua rápidamente aprovechable es la cantidad de agua que el cultivo ha consumido en un lapso de dos riegos seguidos, para emplear el próximo riego no se facilitara un agotamiento total del agua que el suelo contiene.

➤ **Tiempo de riego (Tr)**

Según Servín et al (2017) establecen que el tiempo de riego es la relación que existe con respecto a la lámina bruta de riego a utilizar entre la tasa horaria, es decir se refiere al número de horas que un sistema de riego debe estar funcionando o regando en una parcela.

➤ **Frecuencia de riego (Fr)**

Según Cadena (2016) menciona que la frecuencia de riego se refiere al número de días, entre dos riegos seguidos, depende de las necesidades hídricas del cultivo y de la capacidad que tiene el suelo para retener el agua, es decir son los días que el cultivo se demora en consumir

el agua del suelo, mediante la evapotranspiración. Por otro lado, Tarjuelo (1991) establece que la frecuencia de riego es la lámina de agua rápidamente aprovechable relacionada con la demanda máxima del cultivo.

➤ **Lámina de riego total o lámina bruta**

Según Monge 2018 citado por Jiménez (2019) menciona que la lámina de riego total o lámina bruta es la lámina total de agua que requiere un cultivo, con la finalidad que asegure la óptima entrega de agua, teniendo en cuenta la eficiencia de aplicación según el método de riego.

➤ **Selección del aspersor**

Zúñiga (2004) establece que la selección de un aspersor es una parte fundamental en el diseño de un sistema de riego por aspersión, es decir al momento de escoger un aspersor se debe tener en cuenta el espaciamiento entre aspersores, la presión de operación y el tamaño de boquilla, así mismo que la tasa de aplicación de agua tenga una elevada uniformidad distribución. Según Alocen (2007) para seleccionar un modelo del aspersor, debemos tener en cuenta las siguientes condiciones:

- No es permitido cualquier tipo de aspersor para el sistema de riego que se esté diseñando. Es decir, cada tipo de aspersor cuenta con sus respectivas características como su rango de funcionamiento adecuado de acuerdo a la presión disponible.
- Por otra parte, un mismo tipo de aspersor puede distribuir un caudal distinto de acuerdo a la presión a la que se encuentre funcionando.
- Tener en cuenta los datos técnicos de los aspersores que utilizaremos en el diseño, estos datos se encuentran en catálogos comerciales.
- **Intensidad de precipitación del aspersor ( $I_p$ )**

Urbano (1988) establece que para tener una instalación del riego por aspersión de calidad es fundamental determinar la intensidad de precipitación del aspersor o intensidad de lluvia de los aspersores, dicha intensidad de precipitación no debe ser mayor a la permeabilidad del suelo con la finalidad de evitar anegaciones. Por otra parte, se debe limitar la intensidad de precipitación cuando la pendiente del terreno vaya siendo elevada.

#### **4.10. Diseño hidráulico**

Según Bermeo (2020) menciona que el diseño hidráulico permite establecer las dimensiones de todos los componentes que integran la instalación de riego, garantizando la

aplicación adecuada de agua para los cultivos, en todas sus etapas de desarrollo. Además, permite asegurar una distribución uniforme del agua sobre el suelo, lo que garantiza adquirir una buena producción y un uso eficiente del agua.

#### ***4.10.1. Pérdidas de cargas en tuberías***

Yambombo (2012) indica que la pérdida de carga por fricción es ocasionada por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería, por lo cual una pérdida de carga sigue la dirección del fluido. Según Tapia y Osorio (1999) mencionan que la pérdida de carga pertenece a la pérdida de energía del agua durante el viaje por el interior de la tubería, lo cual ocasiona un descenso de la presión en el parte interior de la conducción, originándose de esta manera una diferencia de presión. Además, se relaciona con el diámetro, longitud, rugosidad y el caudal conducido por las tuberías.

#### ***4.10.2. Velocidad de agua en las tuberías***

Según Alocén (2007) conocer la velocidad del agua en las tuberías de riego, es de gran importancia ya que si tenemos una elevada velocidad del agua se produce una mayor sobrepresión, por lo tanto, es fundamental establecer máximos valores de velocidad del agua.

#### ***4.10.3. Diseño de las tuberías***

##### **➤ Tubería principal**

Mena (2014) indica que la tubería principal es por lo general fija, a pesar de que en ciertas circunstancias es móvil. Cierta tubería habitualmente va enterrada y se puede construir de distintos materiales como fibrocemento, PVC, polietileno y otros. Además, es la responsable de conducir el agua a partir de la estación de bombeo hasta la entrada del campo.

##### **➤ Tubería secundaria**

Valarezo (2013) expresa que para dimensionar la tubería secundaria se debe tener en cuenta las dimensiones del terreno, el caudal superior el cual depende, del caudal de cada tubería lateral que funcione constantemente. Según Guerrero (2012) la tubería secundaria es la responsable de repartir el agua en cada uno de los sectores de riego.

##### **➤ Tubería lateral**

Valarezo (2013) menciona que la tubería lateral es la encargada de distribuir el agua a los cultivos mediante los aspersores colocados en dicha tubería. La aplicación de agua por parte de los aspersores tiene que ser igual, es decir todos los aspersores tienen que aplicar igual

cantidad de agua. Por tal razón para realizar un adecuado diseño se debe tener en cuenta la pérdida máxima admisible.

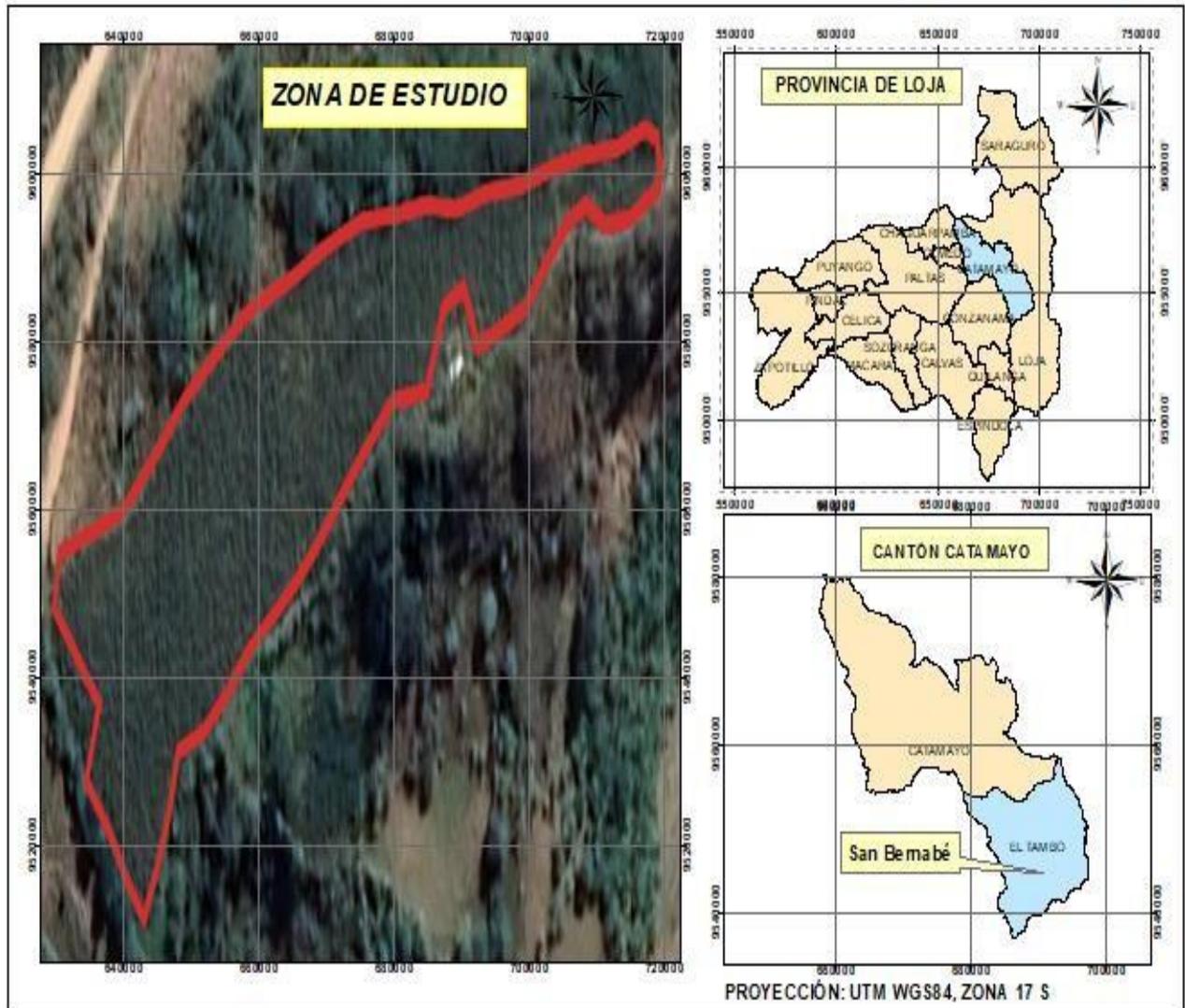
## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación del lugar

El sitio de estudio está ubicado en un predio del sector San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo, en la provincia de Loja. Según las coordenadas UTM, su ubicación es 6 88599 m O y 9 544195 m S y su altitud es de 1620 m.s.n.m. El clima en la zona es cálido seco , con una temperatura que oscila entre 18 y 20° C y la finca se encuentra a 30 min del centro del Tambo y a una hora del cantón Catamayo (PDOT de El Tambo 2020- 2023).

### Figura 9.

*Ubicación de la zona de estudio*



**Fuente:** Cartografía nacional escala 1:50 000 IGM, 2023

**Elaborado:** Autora

## **5.2. Materiales**

### **5.2.1. *Materiales de campo***

- Libreta
- Cronómetro
- Pala
- Cinta métrica
- Cámara fotográfica
- Combo

### **5.2.2. *Materiales de laboratorio y equipos***

- GPS diferencial
- Equipo de Richards
- Balanza de precisión
- Estufa
- Cilindros koppecky de 100 cm<sup>3</sup>
- Cilindros infiltrómetros
- Manómetro de glicerina con adaptaciones para el aspersor
- Vasos pluviométricos
- Probeta
- Bidón de plástico graduado en 20 litros
- Manguera flexible

### **5.2.3. *Recursos tecnológicos***

- Computador
- AutoCAD Civil 3D versión estudiantil
- Sistemas de Información Geográficos
- CROPWAT 8.0

### **5.3. Metodología para el primer objetivo**

*Evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé para el cultivo de hierba luisa (Cymbopogon citratus).*

La evaluación se realizó en la etapa de producción del cultivo, cabe mencionar que el follaje no influyó en la precipitación de los aspersores. Además, la recolección de datos se llevó a cabo en un clima soleado y cuando el agricultor estaba aplicando el riego, lo cual permitió medir la distribución del agua y las pérdidas por evaporación y arrastre del viento, en tiempo real, proporcionando una información precisa de efectividad del sistema, bajo condiciones operativas normales.

Para evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión, primero se realizó la caracterización de los componentes de la instalación del sistema de riego por aspersión, ubicado en la parcela del sector de San Bernabé, luego se colocaron 28 pluviómetros dentro de un marco de riego con seis aspersores para medir la uniformidad de distribución del agua. Finalmente, se registraron las presiones de los aspersores y el caudal, lo que permitió identificar la eficiencia del mismo. Estos procedimientos fueron seleccionados por su capacidad para proporcionar datos precisos sobre la distribución del agua y las posibles pérdidas de agua por evaporación y arrastre. Con base a lo mencionado anteriormente se evaluó la eficiencia de aplicación del sistema de riego, mediante la metodología propuesta por Fernández et al. (2010):

#### ***5.3.1. Caracterización de los componentes de la instalación del sistema de riego por aspersión del predio del sector San Bernabé***

Se efectuó una inspección de los componentes del sistema de riego con la finalidad de evaluar las condiciones en que se encuentran los diversos accesorios, para lo cual se inspeccionó desde tuberías, juntas, elementos de control, piezas especiales, aspersores y otros componentes, considerando las especificaciones técnicas de trabajo.

A continuación, se anotó el estado en general y la cantidad que existe de cada uno de los elementos de medida y control de agua que integran el sistema de riego por aspersión como: manómetros, válvulas y otros accesorios.

#### ***5.3.2. Evaluación de la uniformidad de riego***

Para realizar la evaluación de la uniformidad de riego de la zona evaluada, se desarrollaron los siguientes pasos:

Primero se eligió la zona más representativa del predio a evaluar, la cual se determinó en campo. Además, se tuvo en cuenta que el cultivo presente no influya la precipitación de los aspersores, el ensayo se llevó a cabo con 6 aspersores, de la marca NAANDANJAIN 5022.

Antes de empezar el riego se ubicaron una red de pluviómetros (28 vasos) formando una malla de 3 x 3 m, para recolectar el agua de los seis aspersores durante un periodo de 90 minutos.

Luego de terminar la evaluación, se dejó de regar y se midió el volumen de agua recogido en cada vaso con la ayuda de una probeta.

➤ ***Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores (UDp aspersores)***

Para determinar la uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores, se tomó en cuenta los volúmenes recolectados en cada uno de los pluviómetros, luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$UDp\ aspersores = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

**Donde:**

$UDp\ aspersores$  = Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores (%)

$V_{25\%}$  = Media de la cuarta parte de los volúmenes que han recolectado menos agua (mm)

$V_m$  = Media de los volúmenes medidos en cada vaso (mm)

➤ ***Uniformidad de la instalación del sistema (UD inst)***

Una vez obtenida la uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores, seguido se procedió a calcular la uniformidad de la instalación del sistema de riego, para lo cual se realizó los siguientes pasos:

Se procedió a medir la presión por medio de un manómetro en los seis aspersores que mojan la zona evaluada, especialmente en el primer y último aspersor de los ramales en los que se encuentran instalados.

Para estimar la uniformidad de distribución de la instalación del sistema se aplicó la siguiente fórmula:

$$UD \text{ instalación} = UDp(\text{aspersores}) \times \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

**Donde:**

$UD \text{ inst}$  = Uniformidad de distribución de la instalación (%)

$UDp \text{ aspersores}$  = Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores (%)

$P_{min}$  = Presión mínima de las que se han medido en los aspersores (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_m$  = Presión media de los aspersores (kg/cm<sup>2</sup>)

Para interpretar la uniformidad de la instalación se utilizó la Tabla 2:

**Tabla 2.**

*Interpretación de la uniformidad de distribución de la instalación*

UD (%)	Interpretación
> 85	Excelente
80 a 85	Buena
75 a 80	Aceptable
< 75%	Inaceptable

**Fuente:** Fernández et al. (2010)

➤ ***Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CUC)***

Para determinar el coeficiente de uniformidad de riego se utilizó la fórmula desarrollada por Christiansen (1942), citada por Calderón et al. (2019), de acuerdo con los datos registrados en los distintos pluviómetros que se colocaron en la zona de evaluación.

$$CU = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right)$$

**Donde:**

CU = Coeficiente de uniformidad de Christiansen (%)

$X_i$  = Altura de agua recogida por cada pluviómetro (cm<sup>3</sup>)

$X$  Altura media de agua recogida en el total de los pluviómetros ( $\text{cm}^3$ )

$n$  = Número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación

Para su respectiva interpretación se consideró los criterios de Christiansen 1942, para lo cual se utilizó la siguiente Tabla 3:

**Tabla 3.**

*Interpretación del coeficiente de uniformidad de Christiansen*

CUC (%)	Interpretación
>90	Muy buena
85 a 90	Buena
80-85	Aceptable
< 80	Inaceptable

**Fuente:** Christiansen 1942, citado en Díaz y Herrera (2019).

### 5.3.3. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)

Las pérdidas causadas por la evaporación y arrastre por el viento durante el riego, se denominan como la diferencia entre la lámina de agua que aplican los aspersores sobre la superficie evaluada y la lámina media de agua recogida en los pluviómetros.

➤ **Lámina de agua aplicada por los aspersores  $La$ .**

Para su cálculo se siguieron los siguientes pasos:

Primero se realizó la medición del caudal de cada aspersor que moja la zona evaluada y luego para su cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$Q_{asp} = \frac{V}{t}$$

**Donde:**

$Q_{asp}$  = Caudal del aspersor (l/min)

$V$  = Volumen recogido (l)

$t$  = Tiempo de llenado (s)

Posterior, se calculó el caudal aplicado sobre la zona evaluada, teniendo en cuenta la cuarta parte del agua de los aspersores de las esquinas y la mitad de los caen en la zona evaluada, debido a que se tomó 6 aspersores, se aplicó siguiente la fórmula:

$$Q_a = \frac{Q_{asp1}}{4} + \frac{Q_{asp2}}{2} + \frac{Q_{asp3}}{4} + \frac{Q_{asp4}}{4} + \frac{Q_{asp5}}{2} + \frac{Q_{asp6}}{4}$$

**Donde:**

$Qa$  = Caudal aplicado sobre la zona evaluada (l/min)

$Qasp$  = Caudal del aspersor (l/min)

Finalmente se obtuvo la lámina de agua aplicada por los aspersores ( $La$ ) con la siguiente fórmula:

$$La = \frac{Qa}{A} \times t$$

**Donde:**

$La$  = Lámina de agua aplicada por los aspersores (mm)

$Qa$  = Caudal aplicado (l/min)

$A$  = Área de la zona evaluada ( $m^2$ )

$t$  = Tiempo de evaluación (min)

➤ **Lámina de agua recogida por los pluviómetros  $Lp$ .**

La lámina de agua recogida por los vasos pluviométricos ( $Lp$ ) se calculó siguiendo los siguientes pasos:

En primer lugar, se calculó el área de la embocadura de los vasos, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Área} = 0,785 \times (D)^2$$

**Donde:**

$A$  = Área del pluviómetro ( $cm^2$ )

$D$  = Diámetro del pluviómetro (cm)

Segundo se determinó la lámina de agua recogida en los pluviómetros ( $Lp$ ), mediante la expresión:

$$Lp = \frac{V}{A} \times 10$$

**Donde:**

$Lp$  = Lámina de agua recolectada por los pluviómetros (mm)

$V$  = Volumen medio recogido ( $cm^3$ )

$A$  = Área de la embocadura de los vasos ( $\text{cm}^2$ )

Finalmente se calculó las PEA, por medio de la siguiente fórmula:

$$Pe = 100 \times \frac{La - Lp}{La}$$

**Donde:**

$Pe$  = Pérdidas por evaporación y arrastre del viento (%)

$La$  = Lámina de agua aplicada por los aspersores (mm)

$Lp$  = Lámina de agua recogida en los pluviómetros (mm)

#### **5.3.4. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)**

Para determinar el índice de grosor de la gota se procedió a medir la presión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) en cada uno de los aspersores seleccionados para la evaluación y se aplicó la siguiente fórmula:

$$IG = 12,85 * \frac{p^{1,3}}{d}$$

**Donde:**

$IG$  = Índice de grosor de gota

$p^{1,3}$  = Presión en cada uno de los aspersores seleccionados (bar)

$d$  = Diámetro de las boquillas en (mm)

#### **5.3.5. Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea)**

Para determinar la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión, se determinó la filtración profunda, teniendo en cuenta el valor del coeficiente de uniformidad de Christiansen. Para lo cual se utilizó la posterior Tabla 4, donde se admitió un déficit del 5 %, para obtener el valor requerido.

**Tabla 4.**

*Valores de filtración profunda conociendo el CU y admitiendo un déficit*

<b>Filtración Profunda (%)</b>					
<b>Déficit (%)</b>	<b>CU (%)</b>				
	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	
10	6	2	1		
15	3	1			
20	1				

**Fuente:** (Fernández et al., 2010)

Una vez obtenido el valor de filtración profunda, se determinó la eficiencia de aplicación del sistema de riego, para lo cual se utilizó la posterior fórmula:

$$Ea = 100 - \text{filtración profunda} - Pe$$

**Donde:**

*Ea* = Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego (%)

*Pe* = Pérdidas por evaporación y arrastre del viento (%)

#### **5.4. Metodología para el segundo objetivo**

*Realizar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé.*

Una vez realizada la evaluación de cómo funciona el sistema de riego implementado, se pudo reconocer sus deficiencias, por tal razón se consideró realizar el rediseño del sistema de riego por aspersión a nivel parcelario, tanto en la parte agronómica como hidráulica, con el propósito de mejorar la distribución del agua y garantizar una adecuada eficiencia de aplicación del mismo. Por lo tanto, al rediseño se lo pondrá a consideración del propietario del predio. Para el rediseño se empleó la siguiente metodología:

##### **5.4.1. Topografía del área de estudio**

El levantamiento topográfico se realizó con el GPS diferencial, con proyección Universal Transversal Mercator (UTM), mediante el sistema geodésico mundial (WGS 84)

correspondiente a la zona 17 sur, con el propósito de delimitar el área y la longitud de las diferentes tuberías que integran el sistema de riego. Los datos obtenidos en coordenadas UTM, se descargaron en la computadora para su respectivo procesamiento y mediante el software de Autocad civil 2023, se obtuvo la topografía con sus curvas de nivel, la ubicación y dimensiones de las tuberías.

#### **5.4.2. Constantes hidrofísicas del suelo**

Para calcular las constantes hidrofísicas del suelo se siguió la metodología propuesta por la FAO (2006) para lo cual se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas, a una profundidad de 0 a 30 cm, cada muestra se registró con un código y fecha de muestreo; y se llevaron al “Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología” de la FARNR – UNL, donde se realizaron los siguientes análisis:

*Saturación:* para determinar la saturación se procedió a saturar las muestras durante un periodo de 24 horas hasta observar una película de agua (PF= 0) formada en la parte superior del suelo, luego se procedió a secar las muestras a 105 °C, las muestras se pesan antes y después de ser ubicadas en la estufa, cuya diferencia equivale al porcentaje de saturación en el suelo.

*Capacidad de campo y punto de marchitez permanente:* para calcular la capacidad de campo se estima dos valores: según la USDA a 1/3 atm (2,52 pF), y para la SICS a 1/10 atm (2.0 pF). Con respecto al punto de marchitez permanente está a un pF= 4,2 equivalente a un valor de 15 atmósferas.

*Densidad aparente:* para determinar la densidad aparente se colocaron las muestras no disturbadas en la estufa, a 105 °C por 24 horas, para seguidamente pesarlas. Luego una vez obtenidos los valores se aplicó la siguiente fórmula:

$$Da = (g/cm^3) = \frac{\text{Peso del suelo seco a } 105 \text{ } ^\circ\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

*Textura:* para calcular la textura del suelo, se empleó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, el cual se basa en dispersar las partículas de arena, limo y arcilla a través de la sedimentación, para luego registrar dos tipos de lectura y temperatura, la primera lectura a los 40 segundos y la segunda lectura después de dos horas. A continuación, se calculó la textura del suelo empleando el triángulo textural (Figura 1).

#### ➤ **Curva de retención de humedad del suelo**

Mediante los resultados obtenidos de las constantes hidrofísicas del suelo a diferentes tensiones como: saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se elaboró

en una hoja de Excel la curva de retención de humedad, relacionando el contenido de humedad del suelo en eje “X” y el potencial mátrico en el eje “Y”.

➤ **Evaluación de las condiciones físicas del suelo**

Según Valarezo et al. (1998), para evaluar las condiciones físicas del suelo, se emplea el diagrama triangular, el cual relaciona los valores porcentuales del volumen de poros físicamente inertes (VPFI), el agua aprovechable (AA) y la capacidad de aireación (CA) (Anexo 17), con la finalidad de tener los parámetros fundamentales para clasificar la zona de la condición física del suelo.

➤ **Velocidad de infiltración del agua en el suelo**

Para realizar la prueba de infiltración se utilizó el método de doble anillo con tres repeticiones, el cual consiste en saturar una sección de suelo delimitada por dos anillos concéntricos. La metodología empleada fue la siguiente:

Primeramente, se realizó la limpieza de la zona, donde se desarrolló la prueba de infiltración, luego se colocó el anillo de mayor diámetro y seguido el de menor diámetro, correctamente nivelados y a 10 cm de profundidad.

A continuación, se procedió a colocar agua en el cilindro externo, luego en el interno y inmediatamente se comenzó a registrar las lecturas del descenso del nivel de agua en el cilindro interno.

Finalmente, las lecturas se registraron durante un tiempo de 4 horas, la primera hora cada 5 minutos, la segunda cada 10 minutos, la tercera a los 15 minutos y la cuarta hora cada 20 minutos, hasta que el descenso del nivel del agua se estabilice, los datos conseguidos del ensayo fueron procesados en Excel, mediante el modelo matemático de Kostiakov, establecido por (Valarezo, 2008) citado por (Sarango, 2019).

**Infiltración Acumulada:** en una hoja de Excel, por medio de la ecuación de Kostiakov se graficó la curva de infiltración acumulada, en base al tiempo acumulado (eje X) y la lámina acumulada (eje Y), la ecuación empleada es la siguiente:

$$I_{acum} = A x T^B$$

**Donde:**

$I_{acum}$  = Infiltración acumulada (cm)

$A x B$  = Parámetros de la ecuación (adimensional)

$T$  = Tiempo (min)

**Velocidad de infiltración Instantánea:** a partir de la ecuación de la infiltración acumulada, se calculó la infiltración instantánea, con la posterior ecuación:

$$VI_{inst} = K \times n \times T^{n-1}$$

**Donde:**

$VI_{inst}$  = Velocidad de infiltración instantánea (cm)

$T$  = Tiempo (min)

$K$  y  $n$  = Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

**Velocidad de infiltración básica:** para encontrar la velocidad de infiltración básica, primeramente, se debe calcular el tiempo básico en minutos, el cual se lo encuentra a partir de la posterior igualdad:

$$\frac{d VI_{inst}}{dt} = - 0,1 VI_{inst}$$

Resolviendo se tiene:

$$Tiempo\ básico = 10 (1 - n)$$

Seguidamente se aplicó la siguiente ecuación:

$$VIB = K \times T^n$$

**Donde:**

$VIB$  = Velocidad de Infiltración básica (mm/h)

$K$  y  $n$  = Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

$T$  = Tiempo básico (min)

Para la clasificación de la velocidad de infiltración básica se utilizó la Tabla 5, según lo establecido por Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA):

**Tabla 5.**

*Clasificación de la velocidad de infiltración básica*

Clasificación	Rango (mm/h)
Muy rápida	> 250
Rápida	150-250
Moderadamente Rápida	65-150
Moderada	20-65
Moderadamente lenta	5-20
Lenta	1,5 - 5
Muy lenta	< 1,5

**Fuente:** USDA 2006 en Amancha (2015).

### 5.4.3. Diseño agronómico

A partir de la información inicial obtenida para el diseño agronómico del riego por aspersión, se procede a determinar los parámetros que proporcionan planificar el uso del agua en el cultivo en periodos de mayor demanda.

#### 5.4.3.1. Necesidades hídricas de los cultivos

Las necesidades hídricas del cultivo permitieron calcular la cantidad de agua que requiere el cultivo, en función de su demanda hídrica. Para lo cual se usó información de los anuarios meteorológicos e información del cultivo de hierba luisa como el  $K_c$  y sus etapas fenológicas. Una vez obtenida toda la información se determinó lo siguiente:

##### ➤ Evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ )

Para calcular la  $E_{To}$  se empleó el método de la FAO (2006) Penman- Monteith, mediante el software (CROPWAT), utilizando la información meteorológica de la estación Malacatos, debido a que esta estación se encuentra más cercana a la zona de estudio y se ajusta a todos los parámetros que requiere el software, los datos que se utilizaron son: temperaturas máximas y mínimas, horas de insolación, velocidad del viento, humedad relativa y radiación. Teniendo en cuenta que la altura de la estación meteorológica es de (1570 msnm) aproximada a la del sitio de estudio (1620 msnm).

Con la finalidad de obtener datos más precisos en cuanto a la temperatura para el sitio de estudio, se realizó un ajuste de datos, en base a la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, por medio del gradiente térmico, teniendo en cuenta que la estación a generarse se encuentra a una altitud mayor a la de la estación base, por lo tanto, se aplicó la posterior fórmula:

$$T_E = T_b - \frac{0,6 * (h_p - h_b)}{100}$$

**Donde:**

$T_E$  = Temperatura a generarse en la estación (° C)

$T_b$  = Temperatura de la estación base de referencia (° C)

$h_b$  = Altitud de la estación base (msnm)

$h_p$  = Altitud promedio de la estación a generarse (msnm)

##### ➤ Coeficiente del cultivo ( $K_c$ )

Se realizó la curva del Kc del cultivo, teniendo en cuenta las etapas fenológicas que menciona la FAO (2006). Para lo cual, se debe tener en cuenta la fecha de siembra y los meses que demora en desarrollarse el cultivo. Luego mediante el software Excel se procedió a graficar en el eje “X” el tiempo de desarrollo y en el eje “Y” los valores de Kc del cultivo de hierba luisa.

➤ **Evapotranspiración del cultivo (ETc)**

Se calculó por medio de la ecuación sugerida por la FAO (2006), en donde la ETc es igual al producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) por el coeficiente del cultivo de hierba luisa (Kc), para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$ETc = ETo \times Kc$$

**Donde:**

*ETc* = Evapotranspiración del cultivo (mm /día)

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

*Kc* = Coeficiente del cultivo (adimensional)

➤ **Precipitación efectiva (Pe)**

Para determinar la precipitación efectiva se utilizó la información de la precipitación media mensual de la estación de la parroquia del Tambo, para un periodo de 1990 al 2013 y mediante el programa CROPWAT 8.0 de la FAO, el cual aplica el método de USD Soil Conservation Service (2010), se pudo calcular la Pe.

➤ **Necesidades de riego**

Las necesidades de riego se determinaron mediante la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo de hierba luisa (ETc) y la precipitación efectiva (Pe). Por lo tanto, se aplicó la posterior fórmula propuesta por (Fuentes, 2003):

$$Rr = ETc - Pe$$

**Donde:**

*Rr* = Requerimientos del riego (mm/día)

*ETc* = Evapotranspiración de referencia (mm/mes)

*Pe* = Precipitación efectiva (mm/mes)

➤ **Necesidades brutas**

Las necesidades brutas se determinaron mediante la división de la ETc y la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión. Para lo cual, se utilizó la siguiente fórmula establecida por (Fuentes, 2003):

$$Nb = \frac{Rr}{Ea}$$

**Donde:**

$Nb$  = Necesidades brutas (mm/día)

$ETc$  = Requerimiento de riego (mm/día)

$Ea$ : Eficiencia de aplicación (%)

#### **5.4.3.2. Parámetros de riego**

Para calcular los parámetros del riego por aspersión, en base a los datos obtenidos del clima y las necesidades del cultivo, se aplicó el proceso de cálculo agronómico según Valarezo (2013).

#### ➤ **Lámina de agua aprovechable (LAA)**

La lámina de agua aprovechable se determinó mediante los datos de las constantes hidrofísicas de suelo, por la profundidad radicular efectiva del cultivo, aplicando la siguiente fórmula:

$$LAA = \frac{(CC - PMP)}{100} \times \frac{Da}{DW} \times Pr$$

**Donde:**

$LAA$  = Lámina de agua aprovechable (mm)

$CC$  = Capacidad de campo (%)

$Pm$  = Punto de marchites permanente (%)

$Da$  = Densidad aparente ( $g/cm^3$ )

$D_w$  = Densidad del agua ( $1g/cm^3$ )

$Pr$  = Profundidad radicular efectiva (mm)

#### ➤ **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**

La lámina de agua rápidamente aprovechable se la determinó mediante la lámina de agua aprovechable por el umbral de riego, considerando un 50 % de agua aprovechable o umbral de riego. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$LARA = LAA \times UR$$

**Donde:**

$LARA$  = Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

$LAA$  = Lámina de agua aprovechable (mm)

$UR$  = Umbral de riego (%)

➤ **Frecuencia de riego (Fr)**

La frecuencia de riego se determinó en base a la lámina de agua aprovechable y la evapotranspiración máxima del cultivo con la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{LAA}{ETc \text{ máx}}$$

**Donde:**

*Fr* = Frecuencia de riego (días)

*LAA* = Lámina de agua aprovechable (mm)

*ETc máx* = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

➤ **Frecuencia de riego ajustado (Frj)**

La frecuencia de riego ajustada se la determina cuando los cálculos no arrojan valores de días completos. En este caso, se ajusta la frecuencia de riego a un valor entero para garantizar un uso eficiente del agua.

➤ **Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARAaj)**

La lámina de riego ajustada se determinó en base a la evapotranspiración máxima del cultivo y por la frecuencia de riego ajustada. Aplicando la siguiente fórmula:

$$LARAajust = ETc \text{ máx} \times Frj$$

**Donde:**

*LARAajust* = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

*ETc* = Evapotranspiración del cultivo máxima (mm/día)

*Frj* = Frecuencia de riego ajustada (días)

➤ **Lámina de riego (Lr)**

La lámina de riego se calculó considerando la lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada y la eficiencia del sistema de riego por aspersión del 75 %.

$$Lr = \frac{LARAajust}{Efa}$$

**Donde:**

*Lr* = Lámina de riego (mm)

*LARAaj* = Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

*Efa* = Eficiencia del sistema de riego por aspersión (%)

➤ **Selección del Aspersor**

En la selección del aspersor se consideró que la intensidad de precipitación del emisor, sea menor a la velocidad de infiltración básica. Además, se tomó en cuenta las características

indicadas del catálogo del fabricante como la presión, el caudal y el diámetro húmedo, con el propósito de asegurar un adecuado funcionamiento del sistema en el área de riego.

➤ **Intensidad de precipitación del aspersor ( $I_p$ )**

Para calcular la intensidad de precipitación del aspersor se tuvo en cuenta las características del aspersor seleccionado y se realizó una división entre el caudal del aspersor y el marco de riego, se utilizó la siguiente fórmula:

$$I_p = \frac{qa}{Sa \times SL}$$

**Donde:**

$I_p$  = Intensidad de precipitación (mm/h)

$qa$  = Caudal del aspersor (l/h)

$Sa$  = Separación entre aspersores (m)

$Sl$  = Separación entre laterales (m)

➤ **Tiempo de riego ( $Tr$ )**

El tiempo de riego se calculó de acuerdo a lámina de riego y la intensidad de precipitación, para lo cual se aplicó la posterior fórmula:

$$Tr = \frac{Lr}{I_p}$$

**Donde:**

$Tr$  = Tiempo de riego (horas)

$Lr$  = Lámina de riego (mm)

$I_p$  = Intensidad de precipitación (mm/h)

➤ **Número de aspersores por lateral (NAL)**

Para calcular el número de aspersores se tomó en cuenta la longitud de la parcela en dirección del lateral y la separación entre aspersores. Por lo tanto, se utilizó la siguiente fórmula:

$$NAL = \frac{LPL}{Sa}$$

**Donde:**

$NAL$  = Número de aspersores por lateral (u)

$LTL$  = Longitud de la parcela en dirección del lateral (m)

$Sa$  = Separación entre aspersores (m)

➤ **Caudal del lateral (QL)**

El cálculo del caudal del lateral se lo realizó en base al caudal del aspersor establecido en las tablas por el fabricante y por el número de aspersores existentes en cada lateral. Para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$QL = qa \times NAL$$

**Donde:**

$QL$  = Caudal del lateral (l/h)

$qa$  = Caudal del aspersor (l/h)

$NAL$  = Número de aspersores por lateral (u)

➤ **Número de laterales en el área (NL)**

El número de laterales en el área, se lo calculó realizando la división de la longitud de la parcela en dirección del secundario y la separación entre laterales. Se aplicó la siguiente fórmula.

$$NL = \frac{LPS}{SL}$$

**Donde:**

$NL$  = Número de laterales en el área (u)

$LPS$  = Longitud de la parcela, en dirección del secundario (m)

$SL$  = Separación entre laterales (m)

➤ **Caudal de la tubería secundaria (Qs)**

El caudal de la tubería secundaria se lo determinó a partir del caudal de la tubería lateral por el número de laterales en el área.

$$Qs = QL \times NL$$

**Donde:**

$Qs$  = Caudal de la línea secundaria (l/h)

$QL$  = Caudal del lateral (l/h)

$NL$  = Número de laterales (u)

#### **5.4.4. Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico permitió determinar los diámetros y las longitudes de las diversas tuberías que integran el sistema de riego por aspersión y además calcular las pérdidas de carga. Para lo cual se estimó dos criterios:

Según Christiansen (1945) citado por Villacís (2012), para lograr una eficiencia de riego aceptable en cada uno de los ramales, la mayor diferencia de presión entre los emisores externos debe ser menor al 20 % de la presión nominal ocasionada por el aspersor.

Por otra parte, para determinar la velocidad del flujo en las tuberías, se aplicó la fórmula de Hansen-William. Además, para corregir las pérdidas de carga en la tubería secundaria y lateral se usó el factor de corrección de Christiansen.

➤ **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías**

Para determinar las pérdidas de carga por fricción en la longitud de las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen –Williams, la cual se la aplica tanto para tuberías de PVC o polietileno.

$$hf = j \times L$$

**Donde:**

hf= Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

j= Gradiente hidráulico (m/ m)

L = Longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se lo obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

**Donde:**

J = Gradiente hidráulico (m/m)

Q = Caudal (l/h)

C = Coeficiente de fricción (adimensional)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

➤ **Pérdidas de carga por fricción en la secundaria y lateral**

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en las tuberías secundarias y laterales se multiplicó el gradiente hidráulico por la longitud de las tuberías y por el coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen. Para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$hf = j \times L \times F$$

**Donde:**

hf= Pérdida de carga en la tubería (m)

J = Pérdida de carga por fricción en una tubería o gradiente hidráulico (m/m)

L= Longitud de la tubería (m)

F = Coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (adimensional)

### ➤ Presiones en la tubería lateral

Para calcular las presiones en la tubería lateral se tuvo en cuenta la topografía que presenta la parcela, por lo cual se pudo apreciar que el desplazamiento de la tubería lateral es de manera descendente, por ello se aplicó las siguientes fórmulas:

#### Presión al principio del lateral

$$\frac{P_o}{Y} = \frac{P_a}{Y} + \frac{3}{4} hf - \frac{Hg}{2} + Ha$$

**Donde:**

$\frac{P_o}{Y}$  = Máxima presión en el aspersor o en el principio del lateral (m)

$\frac{P_a}{Y}$  = Presión de trabajo del aspersor (m)

$hf$  = Pérdida de carga del lateral (m)

$\frac{Hg}{2}$  = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral

$Ha$  = Altura del elevador (m)

#### Presión al final del lateral

$$\frac{P_n}{Y} = \frac{P_a}{Y} - \frac{1}{4} hf + \frac{Hg}{2}$$

**Donde:**

$\frac{P_n}{Y}$  = Presión final del lateral (m)

$\frac{P_a}{Y}$  = Presión de trabajo del aspersor (m)

$hf$  = Pérdida de carga del lateral (m)

$\frac{Hg}{2}$  = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el primer objetivo

*Evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé para el cultivo de hierba luisa (Cymbopogon citratus)*

#### 6.1.1. Caracterización de los componentes del sistema de riego

**Tabla 6.**

*Componentes del sistema de riego*

<b>Componentes del sistema de riego</b>	<b>Características</b>	<b>Estado</b>	<b>Material de construcción</b>	<b>Fotografía</b>
<b>Fuente de agua</b>	Tanque Forma rectangular	Bueno	Hormigón	
<b>Fuente de energía</b>	Sistema de riego Presurizado			
<b>Red de distribución Principal</b>	Tubería Pn: 1,00 Mpa Ø: 110 mm Longitud: 60 m	Bueno	PVC	
<b>Red de distribución Secundaria</b>	Tubería Pn: 1,25 Mpa Ø: 50 mm Longitud: 160 m	Regular	PVC	

<b>Laterales de riego</b>	Tubería Pn: 1,25 Mpa  Ø:32 mm  Longitud: 30 m	Regular	Polietileno	
<b>Aspersores</b>	NAADANJAIN Total: 10 Q: 864 l/h Ø húmedo: 18 m Cobertura: 360 °	Bueno	Plástico	
<b>Accesorios</b>	Válvula tipo bola Ø: 40 mm Total: 1	Regular	PVC	
<b>Accesorios</b>	Válvula tipo mariposa Ø: 50 mm Total:1	Regular	Metálica	
<b>Accesorios</b>	Válvula tipo bola Ø: 40 mm Total: 2	Regular	PVC	
<b>Accesorios</b>	Collarín Ø: 12,7 mm Total:22	Regular	Plástico	

Hidrante de acople rápido Ø: 32 mm Total: 22	Regular	Plástico	
Elevadores Pn: 2,90 Mpa Ø: 12,7 mm Total: 10	Bueno	PVC	
Conectores Ø: 12,7 mm Total: 20	Bueno	PVC	
Abrazaderas Ø: 32 mm Total: 2	Regular	Metálicas	
Tapones Ø: 32 mm Total: 2	Regular	PVC	

**Elaborado:** Autora

En la Tabla 6, se presenta una descripción de los componentes que integran el sistema de riego por aspersión. Donde la fuente de agua es un tanque de distribución sectorial, el cual se encuentra ubicado a la cabecera de parcela y es abastecido por la red principal que es una tubería de 110 mm. Dicho tanque distribuye el agua a varios usuarios del sector, es de hormigón armado, de forma rectangular y posee válvulas o cortadoras para repartir el agua a cada usuario, el estado es bueno debido al mantenimiento preventivo que recibe.

El sistema de riego utiliza energía gravitacional como fuente principal para la distribución del agua en la parcela. Esto se debe a que la fuente de agua se encuentra ubicada a una cota elevada de 1624 metros, lo que genera una carga hidráulica de 40 metros de columna de agua (mca) con respecto a la parcela evaluada, garantizando un suministro eficiente y continuo.

La tubería principal o de abastecimiento del sistema de riego la Era, es de PVC, su diámetro es de 110 mm y su presión nominal es de 1,00 Mpa. En cuanto a la tubería secundaria es igualmente de PVC, tiene un diámetro de 50 mm, con una presión de 1,25 Mpa y a partir del tanque de distribución recorre una longitud de 160 m, de manera descendente por el costado norte de la parcela.

Los laterales de riego son de polietileno, su diámetro es de 32 mm, con una presión de 1,25 Mpa, su longitud es de 30 m, los cuales se encuentran instalados a favor de la pendiente del terreno, lo que puede ocasionar problemas en el funcionamiento del sistema de riego y por lo tanto una baja eficiencia de aplicación del riego.

En el sistema de riego se encontró un total de 2 abrazaderas metálicas, con un diámetro de 32 mm, situadas al final de cada lateral, con la finalidad de asegurar una buena fijación y evitar el desplazamiento de la tubería debido a la presión, además, de evitar fugas de agua. Por lo tanto, se considera un accesorio clave para garantizar la estabilidad y seguridad del sistema.

El sistema cuenta con un total de 10 de aspersores, de la marca NAADANJAIN 5022, su boquilla principal es de color azul y la secundaria de color verde limón. Con un caudal de 864 l/h y con un ángulo de giro de 360°, por otro lado, la ubicación de estos aspersores no cuenta con un marco de riego igual.

El sistema de riego tiene 4 válvulas para regular el caudal, 3 de tipo bola con un diámetro de 40 mm y 1 válvula tipo mariposa con un diámetro de 50 mm, las cuales son las encargadas de cerrar el paso del agua hacia los laterales.

Los collarines son aquellos que se encuentran colocados a una distancia determinada de los laterales, los cuales son muy importantes ya que nos facilitan la derivación del agua desde la tubería lateral. Estos cuentan con 2 tornillos, los cuales permiten el aseguramiento del collarín en la tubería, evitando así cualquier movimiento involuntario. Su diámetro es de 12,7 mm, y el sistema cuenta con un total de 24 collarines.

Con respecto a los hidrantes o acoples rápidos, estos cuentan con una llave bayoneta, los cuales permiten liberar el paso agua, su diámetro es de 32 mm y el sistema cuenta con un total de 24 hidrantes.

Los elevadores o tubos porta aspersores están conectados en los hidrantes y tienen un diámetro de 12,7 mm, con una presión de 2,90 Mpa. Además, tienen una altura de 1,50 m.

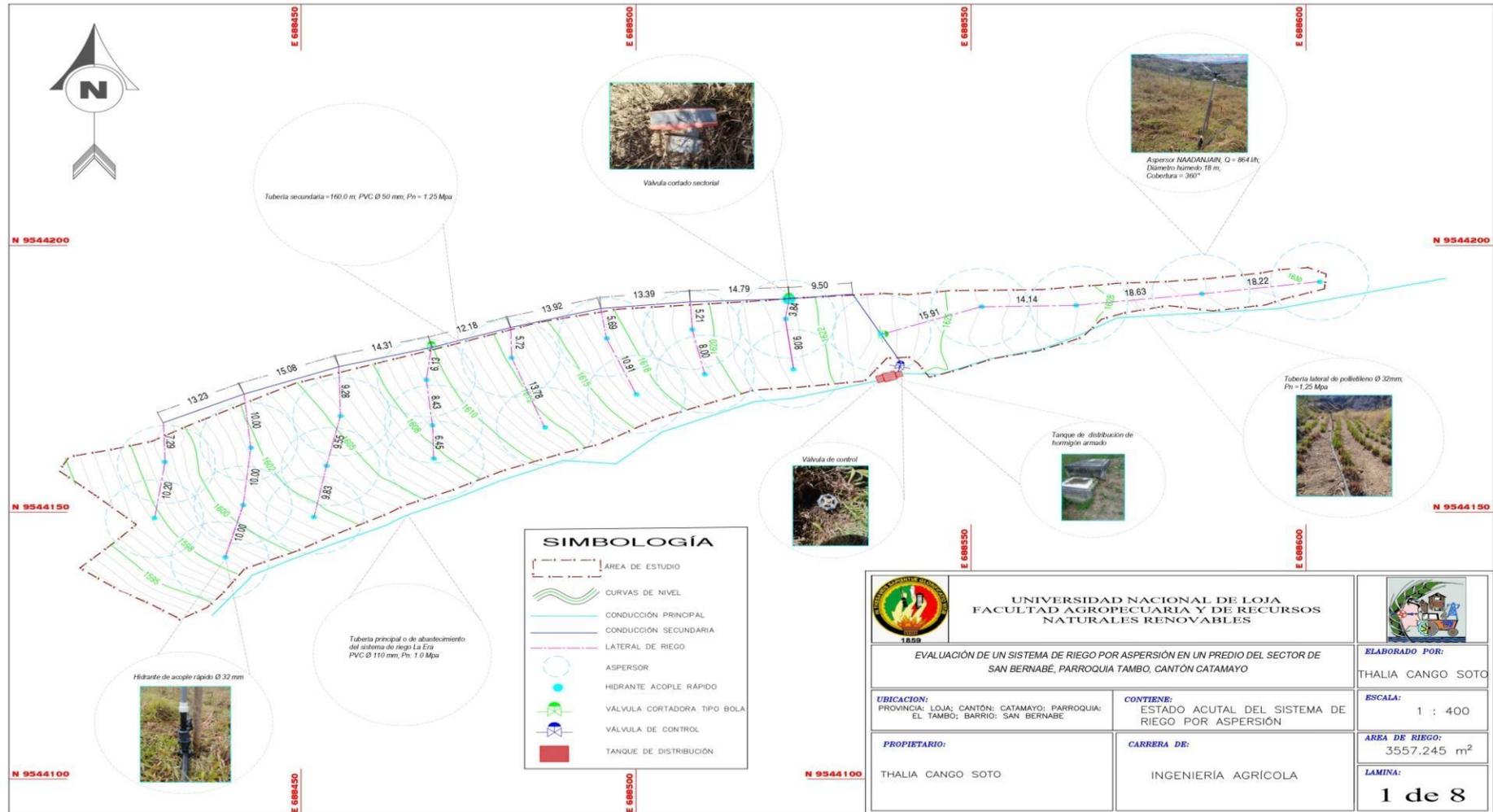
Los conectores son aquellos que se ubican en los tubos porta aspersores tanto en la parte superior como inferior, con la finalidad de permitir la conexión tanto con el aspersor en la parte superior y en la parte inferior con la llave bayoneta. Su diámetro es de 12,7 mm y en el sistema existe un total de 20 conectores. Finalmente, el sistema de riego cuenta con tapones, los cuales se encuentran al final de la tubería lateral, con la finalidad de cubrir la tubería e impedir que se produzcan fugas de agua durante la operación del riego.

#### ***6.1.2. Estado actual del diseño del sistema de riego por aspersión***

En la Figura 10, se muestra el plano del diseño actual del sistema de riego por aspersión. Donde, se observa que los laterales de riego se encuentran a favor de la pendiente del terreno y el marco de riego de riego no es uniforme. Además, se visualiza la ubicación de cada uno de los componentes del sistema riego en el predio.

**Figura 10.**

*Plano del diseño actual del sistema de riego por aspersión*



**Elaborado:** Autora

### 6.1.3. Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores

En la Tabla 7, se indica el resultado de la uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores, obteniendo un valor promedio de 24,43 cm<sup>3</sup> del volumen de los pluviómetros que recolectaron el 25 % y el 75 % del volumen promedio de los pluviómetros del 36,71 cm<sup>3</sup>, determinando una uniformidad de distribución de 66,54 %.

**Tabla 7.**

*Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores*

<b>Volumen promedio</b> <b>V<sub>25%</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Promedio</b> <b>V<sub>m</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>UDp aspersores</b> <b>(%)</b>
24,43	36,71	66,54

**Elaborado:** Autora

### 6.1.4. Uniformidad de la instalación del sistema de riego

En la Tabla 8, se indica que la uniformidad de la instalación del sistema de riego por aspersión es de 63,24 %, este se obtuvo en función de la presión de los aspersores y la uniformidad de la distribución de la precipitación de los aspersores. La evaluación se realizó, para una presión mínima de los aspersores de 2,24 kg/cm<sup>2</sup> y presión media de 2,48 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 8.**

*Uniformidad de la instalación del sistema de riego*

<b>P<sub>min</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P<sub>m</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>UDp aspersores</b> <b>(%)</b>	<b>UD inst (%)</b>
2,24	2,48	66,54	63,24

**Elaborado:** Autora

### 6.1.5. Coeficiente de uniformidad de Christiansen

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (Tabla 9), es de 76,79 %, dicho valor corresponde a una zona de evaluación de seis aspersores, ubicado en dos laterales de riego.

**Tabla 9.**

*Coeficiente de uniformidad de Christiansen*

<b>Promedio</b> <b>V<sub>m</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Sumatoria (cm<sup>3</sup>)</b> <b>X<sub>i</sub> – V<sub>m</sub></b>	<b>CUC (%)</b>
36,71	238,57	76,79

**Elaborado:** Autora

### 6.1.6. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)

En la Tabla 10, se detalla el porcentaje de pérdidas por evaporación y arrastre del viento del 47,28 %, teniendo en cuenta el caudal aplicado por los aspersores de 24 l/min y la lámina de agua aplicada por los aspersores de 7,20 mm.

**Tabla 10.**

*Pérdidas por evaporación y arrastre del viento*

Descripción	Valor	Unidad
Caudal aplicado	24	l/min
Lámina de agua aplicada por los aspersores La	7,20	mm
Área embocadura del pluviómetro	97	cm <sup>2</sup>
Lámina de agua recogida por los pluviómetros Lp	4	mm
Pérdidas por evaporación y arrastre del viento	<b>47,28</b>	<b>%</b>

**Elaborado:** Autora

### 6.1.7. Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)

En la Tabla 11, se indica el promedio del índice de grosor de gota de los seis aspersores, para la boquilla de (3,5 mm), se obtuvo un IG de 12, mientras que para la boquilla de (1,8 mm) un IG de 23,34.

**Tabla 11.**

*Índice de grosor de gota de cada aspersor evaluado*

Presión de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	Índice de Grosor (IG)	
	3,5 mm	1,8 mm
2,35	11,15	21,68
2,24	10,48	20,37
2,65	13,03	25,34
2,96	15,05	29,26
2,35	11,15	21,68
2,35	11,15	21,68
<b>Promedio</b>	<b>12,00</b>	<b>23,34</b>

**Elaborado:** Autora

### 6.1.8. Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea)

La eficiencia del sistema de riego es de 41,15 %, como se detalla en la Tabla 12. Partiendo que las pérdidas por evaporación y arrastre son del 47,28 % y la filtración profunda del 11,57 %.

**Tabla 12.**

*Eficiencia de aplicación del sistema de riego*

<b>Filtración profunda (%)</b>	<b>Pérdidas por evaporación y arrastre (%)</b>	<b>Eficiencia de aplicación del sistema de riego (%)</b>
11,57 %	47,28	41,15

**Elaborado:** Autora

## **6.2. Resultados para el segundo objetivo**

*Realizar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé.*

### **6.2.1. Rediseño del sistema de riego por aspersión**

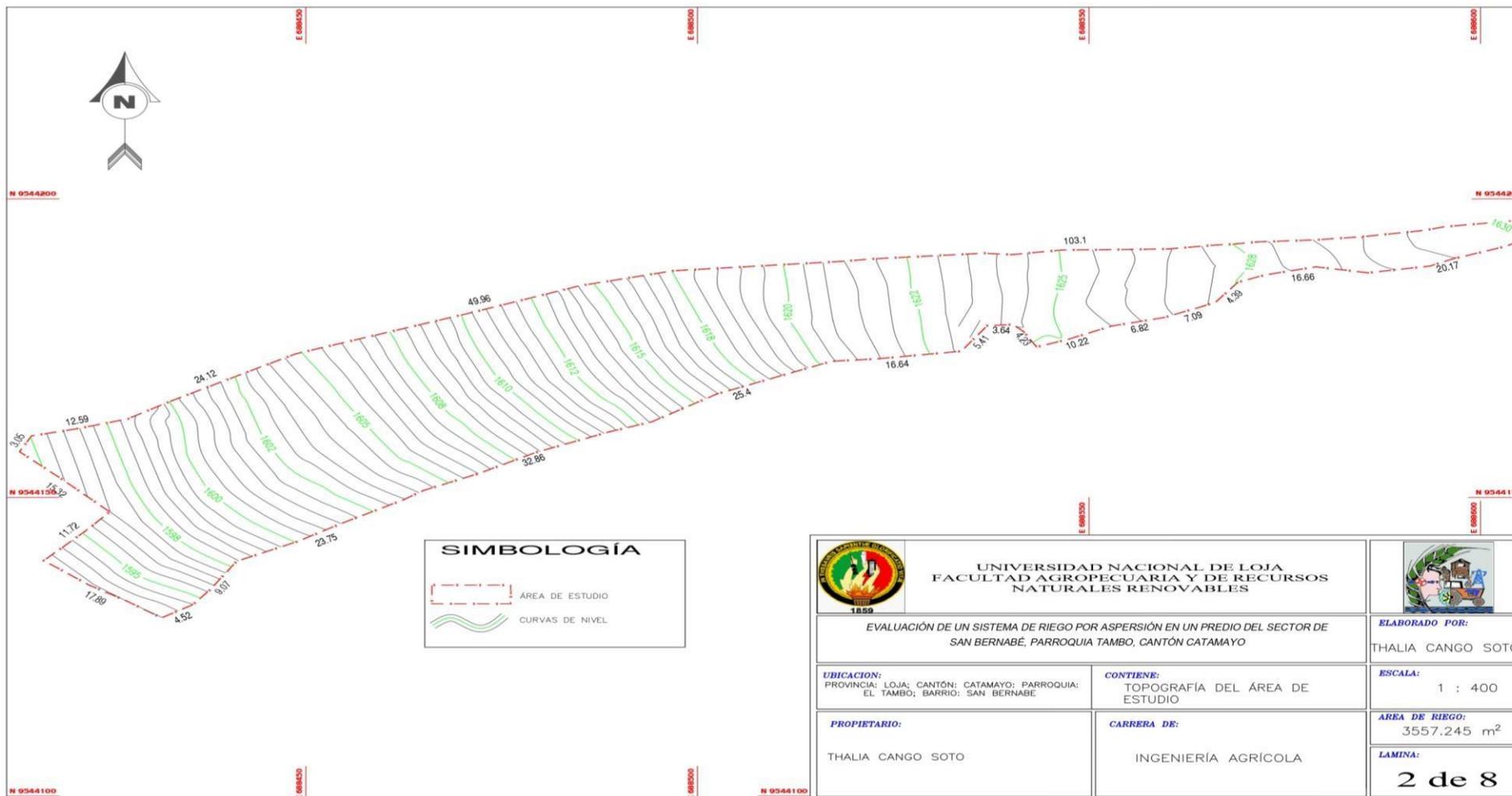
Una vez realizada la evaluación del sistema de riego por aspersión, se obtuvo una eficiencia de aplicación baja (41,15 %). Por ello se propuso un rediseño, con el propósito de mejorar la eficiencia de aplicación del sistema de riego.

### **6.2.2. Topografía del área de estudio**

En la Figura 11, se muestra el plano topográfico del predio del sector de San Bernabé, el cual, cuenta con un área total de 0,36 ha, con curvas de nivel a cada 1,0 m, con pendiente promedio del 21 % y con un rango de altitud que varía desde la cota más baja de 1595 m.s.n.m hasta la más alta a 1630 m.s.n.m.

**Figura 11.**

*Plano topográfico del predio*



**Elaborado:** Autora

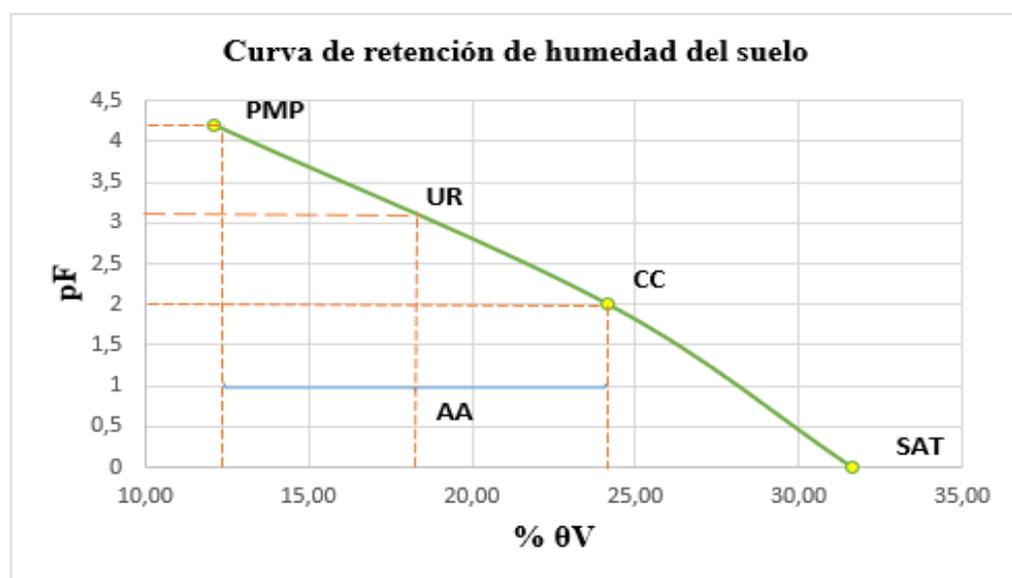
### 6.2.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo

#### 6.2.3.1. Curva de retención de humedad del suelo

La Figura 12, indica los resultados del análisis de suelo, donde se observa que el contenido de humedad disponible en el suelo, en porcentaje de saturación a  $P_f = 0$  es de 31,63 %. La cantidad de agua que el suelo retiene luego de ser saturado y concluido el drenaje o CC a  $pF = 2$ , es de 24,16 %. Por lo tanto, el valor de humedad mínima en el que la planta no puede absorber agua o PMP a  $pF = 4,2$  es de 12,08 %.

**Figura 12.**

*Curva de retención de humedad del suelo*



**Elaborado:** Autora

#### 6.2.3.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

En la Tabla 13, se presentan los datos utilizados para evaluar la condición física del suelo en estudio. El porcentaje de agua aprovechable es de 12,08 %  $\theta_v$ , la capacidad de aireación es de 7,47 %  $\theta_v$  y el volumen de poros físicamente inerte es de 80,45 %  $\theta_v$ . Según estos datos y el diagrama triangular (Figura 8), el suelo se encuentra en la zona 1, correspondiente a la clase muy pobre.

**Tabla 13.**

*Valores para la evaluación de la condición física del suelo*

AA (% $\theta_v$ )	CA (% $\theta_v$ )	VFI (% $\theta_v$ )	Zona	Clase
12,08	7,47	80,45	I	Muy pobre

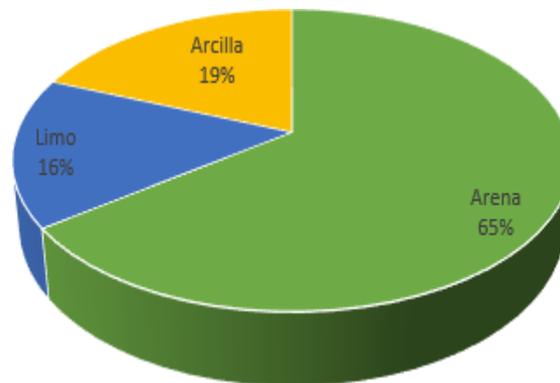
**Elaborado:** Autora

### 6.2.3.3. Textura

La textura es una propiedad principal del suelo, ya que determina su comportamiento en relación con la capacidad de retención de agua y nutrientes, así como el movimiento del agua y el aire. Es decir, determinar la textura es de gran importancia para el manejo correcto de los cultivos. De acuerdo con los análisis realizados, la Figura 13 indica los porcentajes de arena, limo y arcilla que contiene el suelo. Donde se aprecia que el 65 % corresponde a arena, el 16 % a limo y el 19 % a arcilla. Con base en el diagrama textural según el USDA, el suelo se clasifica como franco arenoso. En los anexos 16,17 y 18 se muestra el proceso para la determinación de la textura.

#### Figura 13.

*Relación de la clase textural y la proporción de la fracción del suelo*



### 6.2.3.4. Velocidad de infiltración

Realizadas las pruebas en campo y efectuando el procedimiento correspondiente, el valor promedio de la velocidad de infiltración básica es de 117,12 mm/h para el predio del sector de San Bernabé. Esta velocidad se clasifica como moderadamente rápida, según la (Tabla 5), y se encuentra relacionada con la textura del suelo. En el anexo 13 se detalla el proceso utilizado para la determinación de la velocidad de infiltración básica.

### 6.2.4. Diseño Agronómico para el riego por aspersión

Se calculó los requerimientos hídricos para los meses de superior demanda.

### 6.2.5. Necesidades hídricas del cultivo

#### 6.2.5.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La Tabla 14, detalla los valores de evapotranspiración para la zona de estudio. El mes con mayor evapotranspiración es en noviembre, con un valor de 4,16 mm/día, mientras que el mes con menor evapotranspiración es junio, con 3,49 mm/día.

**Tabla 14.**

*Evapotranspiración de referencia (ETo)*

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>ETo</b> (mm/mes)	118,42	103,04	112,53	110,70	111,60	104,70	114,70	123,07	120,90	125,55	124,80	117,80
<b>ETo</b> (mm/día)	3,82	3,68	3,63	3,69	3,60	<b>3,49</b>	3,70	3,97	4,03	4,05	<b>4,16</b>	4,00

**Elaborado:** Autora

#### 6.2.5.2. Coeficiente de cultivo (Kc)

En la Tabla 15, se muestran los valores de Kc del cultivo de hierba luisa. Los valores de Kc elevados se encuentran en los meses de enero, febrero, mayo, junio, septiembre y octubre, con un valor de Kc = 1, mientras que los valores más bajos de Kc se presentan en los meses de marzo, abril, julio, agosto, noviembre y diciembre, con un valor de Kc= 0,98.

**Tabla 15.**

*Valores de Kc del cultivo de hierba luisa*

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Kc</b>	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98

**Fuente:** FAO (2006)

**Elaborado:** Autora

#### 6.2.5.3. Evapotranspiración del cultivo ETc

La Tabla 16, detalla los valores de evapotranspiración del cultivo de hierba luisa. Donde el mes con mayor ETc es noviembre, con un valor de 4,08 mm/día, mientras que el mes con menor ETc fue junio, con 3,49 mm/día.

**Tabla 16.***Evapotranspiración del cultivo de hierba luisa*

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>ET<sub>o</sub></b> (mm/día)	3,82	3,68	3,63	3,69	3,60	3,49	3,70	3,97	4,03	4,05	4,16	4,00
<b>K<sub>c</sub></b>	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98
<b>ET<sub>c</sub></b> (mm/ día)	3,82	3,68	3,56	3,62	3,60	<b>3,49</b>	3,63	3,89	4,03	4,05	<b>4,08</b>	3,92

**Elaborado:** Autora**6.2.5.4. Precipitación efectiva**

En la Tabla 17, se indican los resultados de la precipitación efectiva en la zona de estudio. Donde el mes con mayor precipitación es marzo, con un valor de 122,70 mm/mes, mientras que el mes de menor precipitación es agosto, con 14,90 mm/mes.

**Tabla 17.***Precipitación efectiva*

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Pe</b> (mm/mes)	74,50	109,70	<b>122,70</b>	100,20	46,10	21,60	15,60	<b>14,90</b>	34,70	60,60	70,20	82,00
<b>Pe</b> (mm/día)	2,40	3,92	3,96	3,34	1,54	0,72	0,50	0,48	1,16	1,95	2,34	2,65

**Elaborado:** Autora**6.2.5.5. Requerimientos del riego para el cultivo de hierba luisa**

En la Tabla 18, se muestran los resultados de los requerimientos de riego para el cultivo de hierba luisa. Donde se observa que el mayor requerimiento se presenta en el mes de agosto, con 3,41 mm/día, mientras que el menor se presenta en el mes de abril, con 0,28 mm/día.

**Tabla 18.***Requerimientos de riego para el cultivo de hierba luisa*

<b>REQUERIMIENTOS DE RIEGO</b>												
Periodo 1990-2013												
<b>Parámetros</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
ETc (mm/día)	3,82	3,68	3,56	3,62	3,60	3,49	3,63	3,89	4,03	4,05	4,08	3,92
Kc (mm/día)	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	0,98	0,98
Pe (mm/día)	2,40	3,92	3,96	3,34	1,54	0,72	0,50	0,48	1,16	1,95	2,34	2,65
Rr (mm/día)	1,42	-	-	<b>0,28</b>	2,06	2,77	3,13	<b>3,41</b>	2,87	2,10	1,74	1,27

**Elaborado:** Autora**6.2.5.6. Necesidades brutas de riego (Nb)**

En la Tabla 19, se detallan los resultados de las necesidades brutas de riego, teniendo en cuenta una eficiencia de aplicación del 75 %. Donde se presentó que el mes de agosto tiene la mayor necesidad bruta, con un valor de 4,55 mm/día. Por otro lado, el mes con menor necesidad bruta fue abril, con 0,37 mm/día.

**Tabla 19.***Necesidades brutas de riego*

<b>NECESIDADES BRUTAS DEL RIEGO</b>												
Periodo 1990-2013												
<b>Parámetros</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Rr (mm/día)	1,42	-	-	0,28	2,06	2,77	3,13	3,41	2,87	2,10	1,74	1,27
Eficiencia del sistema (%)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Nb (mm/día)	1,89	-	-	<b>0,37</b>	2,75	3,69	4,17	<b>4,55</b>	3,83	2,80	2,32	1,69

**Elaborado:** Autora**6.2.5.7. Selección de aspersores**

De acuerdo a las condiciones topográficas del terreno, para el rediseño del sistema de riego se seleccionaron dos tipos de aspersores: el aspersor Rain bird 2045-PJ y el aspersor sectorial P27. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas:

En la Tabla 20, se detallan las características y especificaciones técnicas del aspersor Rain bird 2045-PJ, el cual cuenta con una presión de 2,00 bares y un caudal de 1008 l/h. Además, el diámetro de la boquilla es de 3,97 mm, su diámetro húmedo es de 24 m y el marco de riego es de 12 m x 12 m, con un ángulo de cobertura de 360 °.

**Tabla 20.**

*Características del aspersor de círculo completo*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Modelo	Rain bird, 2045-PJ aspersor de círculo completo.
Presión (bares)	2,00
Caudal (l/h)	1008
Diámetro boquilla (mm)	3,97
Diámetro húmedo (m)	24
Separación entre laterales (m)	12
Separación entre aspersores (m)	12
Cobertura (°)	360



**Elaborado:** Autora

En la Tabla 21, se presentan las características y especificaciones técnicas del aspersor sectorial P27, el cual cuenta con una presión de 1,00 bar y un caudal de 504 l/h. Además, el diámetro de la boquilla es de 3,5 mm, con un diámetro húmedo de 20 m y un ángulo de cobertura de 180 °.

**Tabla 21.***Características del aspersor sectorial*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Modelo	Aspersor 1/2" M sectorial plástico P27
Presión (bares)	1,00
Caudal (l/h)	504
Diámetro boquilla (mm)	3,5
Diámetro húmedo (m)	20
Cobertura (°)	180

**Elaborado:** Autora**6.2.5.8. Datos del suelo para el rediseño**

En la Tabla 22, se muestran los valores de las características hidrofísicas del suelo del predio del sector de San Bernabé, que se utilizarán para realizar el rediseño del sistema de riego agronómico. Donde la textura del suelo es franco arenoso, con una capacidad de campo del 16,00 %, un punto de marchitez permanente del 8,00 %, una densidad de aparente de 1,51 g/cm<sup>3</sup> y una velocidad de infiltración de 117,12 mm/h.

**Tabla 22.***Características hidrofísicas del suelo*

<b>Textura</b>	<b>CC (%)</b>	<b>PMP (%)</b>	<b>Da (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/h)</b>
Franco arenoso	16,00	8,00	1,51	0,30	117,12

**Elaborado:** Autora**6.2.5.9. Diseño agronómico**

En la Tabla 23, se registran los resultados del diseño agronómico, donde se obtuvo una lámina de agua aprovechable de 36,24 mm y una LARA por planta de 18,12 mm, teniendo en cuenta el 50 % del umbral de riego, una frecuencia de riego de 4,44 días, la cual se ajustó a una frecuencia de riego de 4 días, para asegurar el suministro de agua necesario para el cultivo de hierba luisa. Además, se determinó una lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada de 16,32 mm, una lámina de agua de 21,76 mm y un marco de riego de 12 x 12 m. Por otro

lado, la intensidad de precipitación del aspersor de círculo completo es de 7,00 mm/h, que es menor a la velocidad de infiltración básica de 117,12 mm/h. El tiempo de riego es de 3 horas.

Por otra parte, el número total de laterales en el área de estudio es de 15 laterales, siendo el número de aspersores en el lateral crítico de 3, con un caudal de 0,56 l/s y un caudal en la tubería secundaria de 8,40 l/s.

**Tabla 23.**

*Resultados del diseño agronómico*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Lámina de agua aprovechable	LAA	36,24	mm
Lámina de agua rápidamente aprovechable	LARA	18,12	mm
Frecuencia de riego calculada	Fr	4,44	días
Frecuencia de riego ajustada	Fr <sub>aj</sub>	4,00	días
Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada	LARAaj	16,32	mm
Lámina de riego	Lr	21,76	mm
Marco de riego	-	12 x 12	m
Intensidad de precipitación	Ip	7,00	mm/h
Tiempo de riego	Tr	3,00	horas
Número de aspersores lateral crítica	NAL	3,00	U
Caudal del lateral	QL	0,56	l/s
Número de laterales en el área	NL	15,00	U
Caudal de la tubería secundaria	QS	8,40	l/s

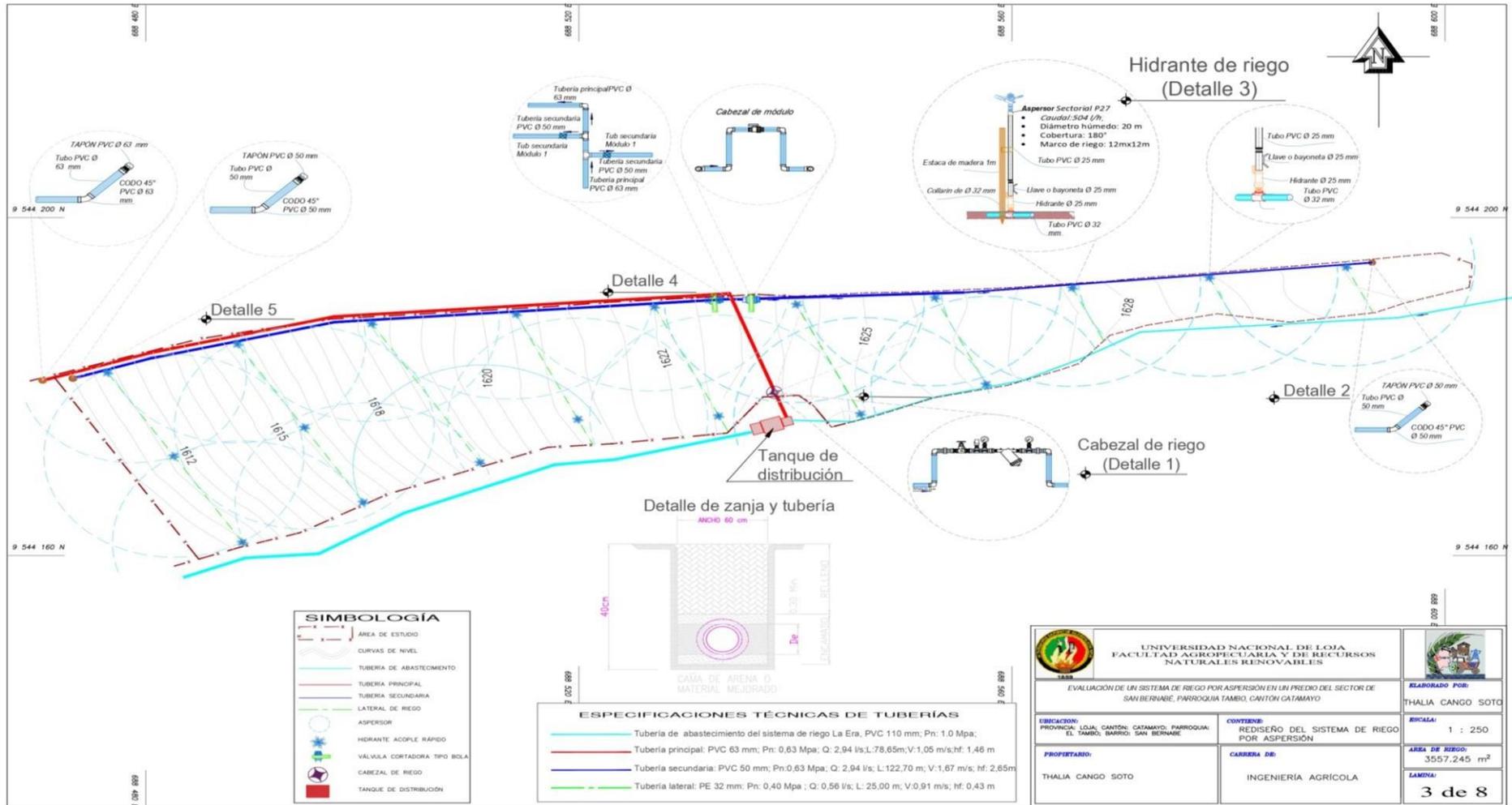
**Elaborado:** Autora

### **6.2.6. Planos del rediseño del sistema de riego por aspersión**

En la Figura 14, se presenta el plano del rediseño del sistema de riego por aspersión para el sector de riego 1, donde la tubería principal, se diseñó desde el tanque de distribución ubicado en el sur, hacia el costado norte de la propiedad. La tubería secundaria, se diseñó desde la parte alta de la parcela, hasta el final del sector de riego. En cambio, la Figura 15 indica el plano del rediseño para el sector de riego 2, donde la tubería secundaria se deriva desde el final de la tubería principal hasta el final del sector. Los laterales de riego, para ambos sectores se diseñaron a partir de la tubería secundaria y en dirección a las curvas de nivel.

**Figura 14.**

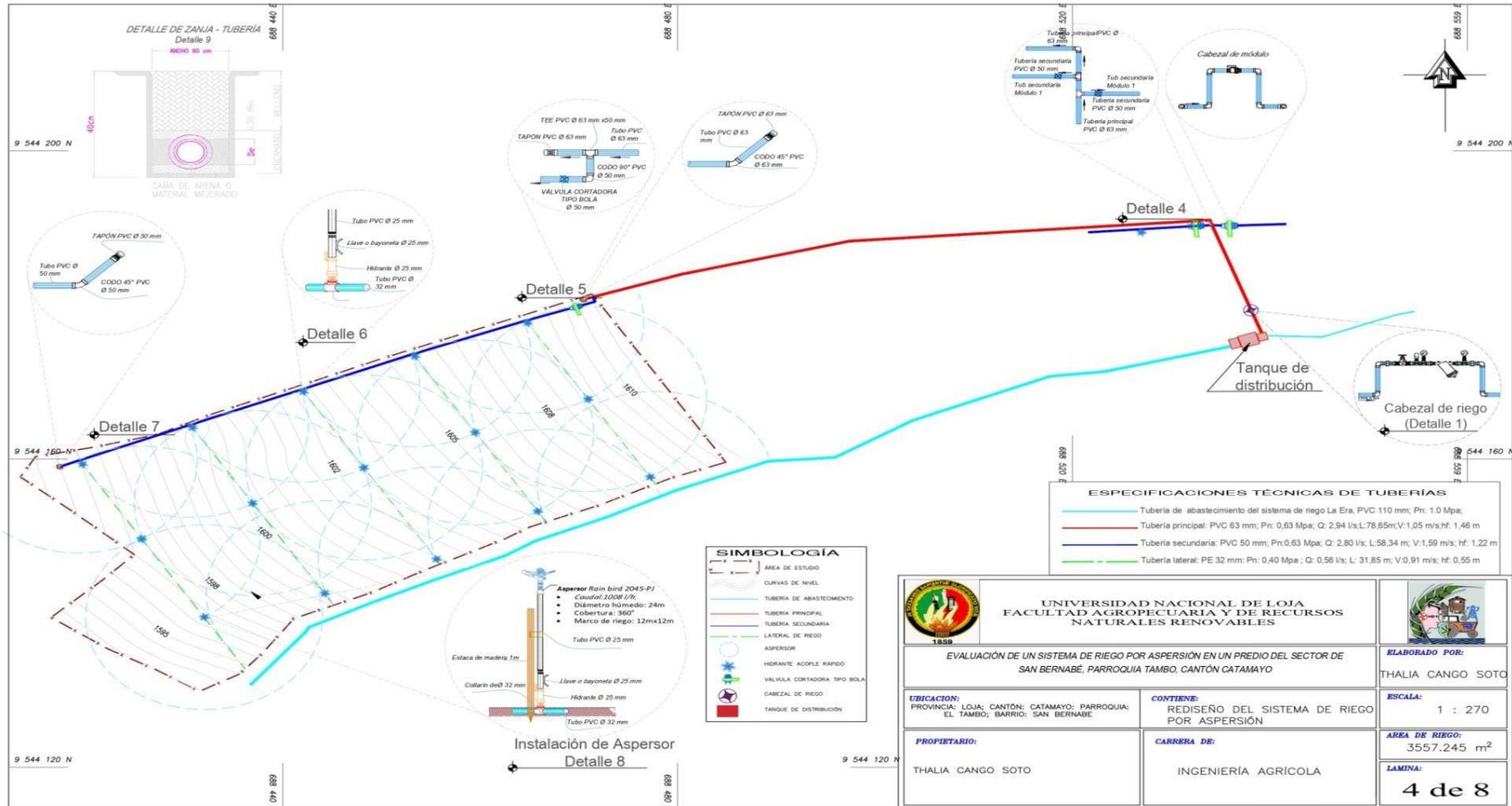
*Plano del rediseño del sector de riego 1*



**Elaborado:** Autora

**Figura 15.**

*Plano del rediseño del sector de riego 2*



**Elaborado:** Autora

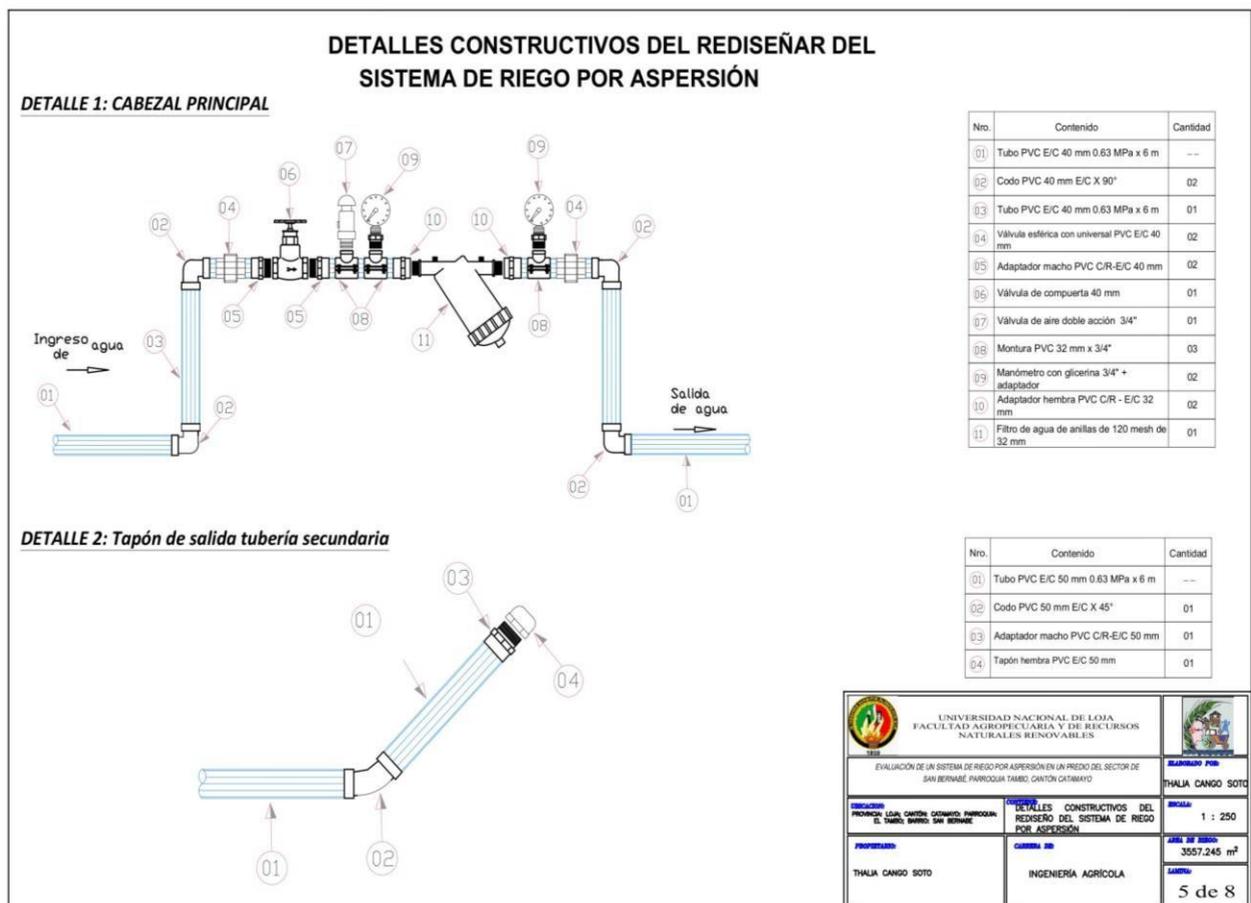
## 6.2.7. Detalles constructivos del rediseño del sistema de riego por aspersión

### ➤ Detalles constructivos del sector de riego

En la Figura 16, se indican los detalles constructivos del sector de riego 1, incluyendo el cabezal principal y la salida de la tubería secundaria ubicada en la parte alta de la parcela. En el detalle 1 se muestra que el cabezal principal, está conformado por: un tubo PVC 40 mm 0,63 Mpa x 6 m, cuatro codos PVC 40 mm x 90°, dos válvulas esféricas con universal PVC E/C de 40 mm, dos adaptadores macho PVC 40 mm, una válvula de compuerta 40 mm, una válvula de aire de doble acción de 3/4", tres monturas PVC 32 mm x 3/4", dos manómetros con glicerina 3/4", dos adaptadores hembra PVC 32 mm y un filtro de anillas de 120 mesh de 32 mm. En el detalle 2 se observa la salida de la tubería secundaria, la cual está integrada por un codo PVC 50 mm E/C 45°, un adaptador macho PVC C/R-E/C 50 mm y un tapón hembra PVC E/C 50 mm.

**Figura 16.**

*Detalles constructivos del cabezal principal y la salida de la tubería secundaria*



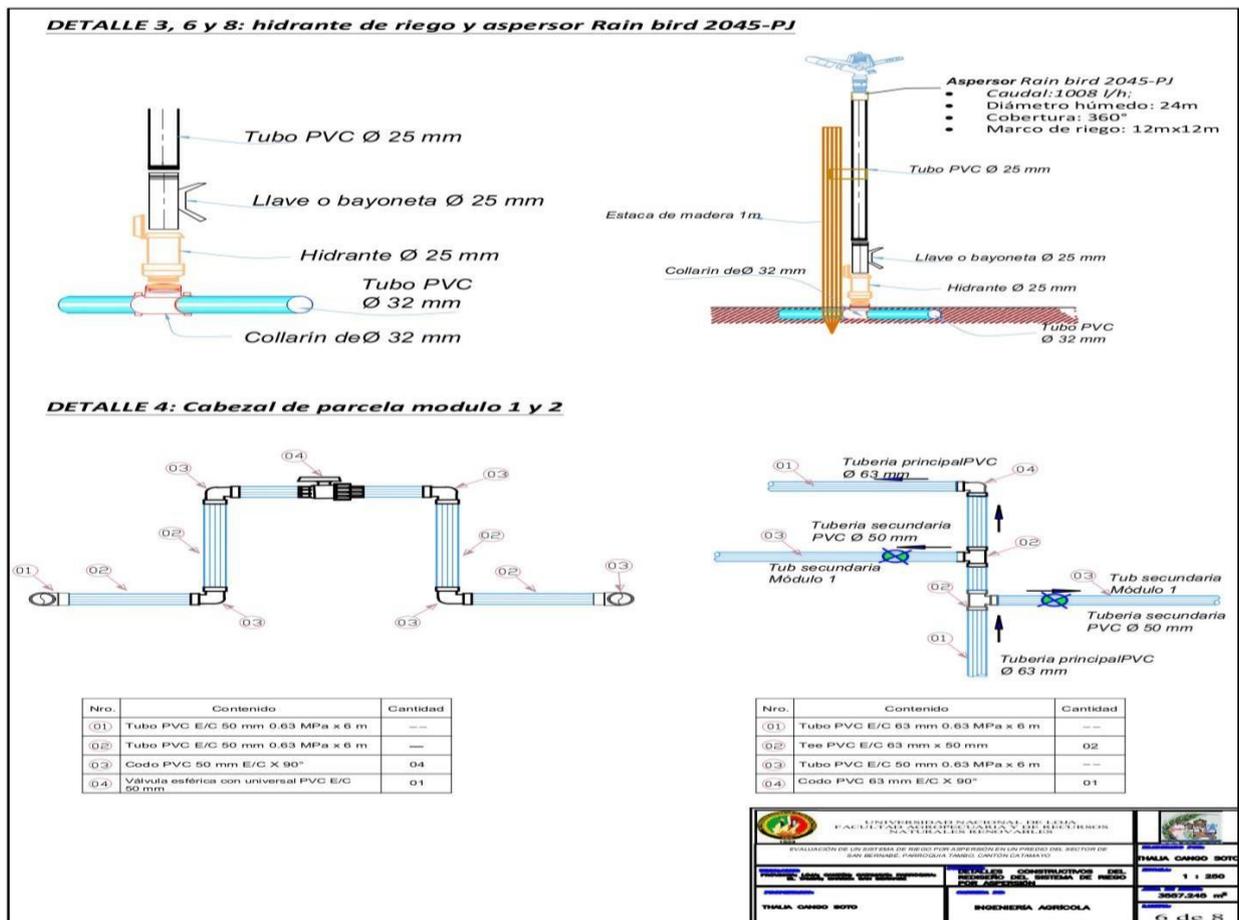
**Elaborado:** Autora

➤ **Detalles constructivos del sector de riego**

En la figura 17, se especifican los detalles constructivos del hidrante de riego, la instalación del aspersor Rain bird 2045 PJ y el cabezal de parcela para los sectores 1 y 2. En los detalles 3 y 6, el hidrante de riego está compuesto por un collarín de 32 mm y una llave o bayoneta de 25 mm, que se introduce en el hidrante para liberar el paso del agua. En el detalle 8, se muestra la instalación del aspersor Rain bird, que se conecta a un elevador o tubo PVC 25 mm y para mantenerlo fijo, se diseñó una estaca de madera 1 m. Por otra parte, en el detalle 4, se observa el cabezal de parcela, el cual está integrado por una tubería PVC 50 mm, cuatro codos PVC 50 mm 90° y una válvula esférica PVC 50 mm. Además, en dicho detalle se muestra la derivación de la tubería secundaria para el sector de riego 1, que está conformada por dos Tees PVC 63 mm x 50 mm y un codo PVC 63 mm 90°, con la finalidad de cambiar la dirección de la tubería principal.

**Figura 17.**

*Detalles constructivos del hidrante, instalación del aspersor rain bird y cabezal de parcela*



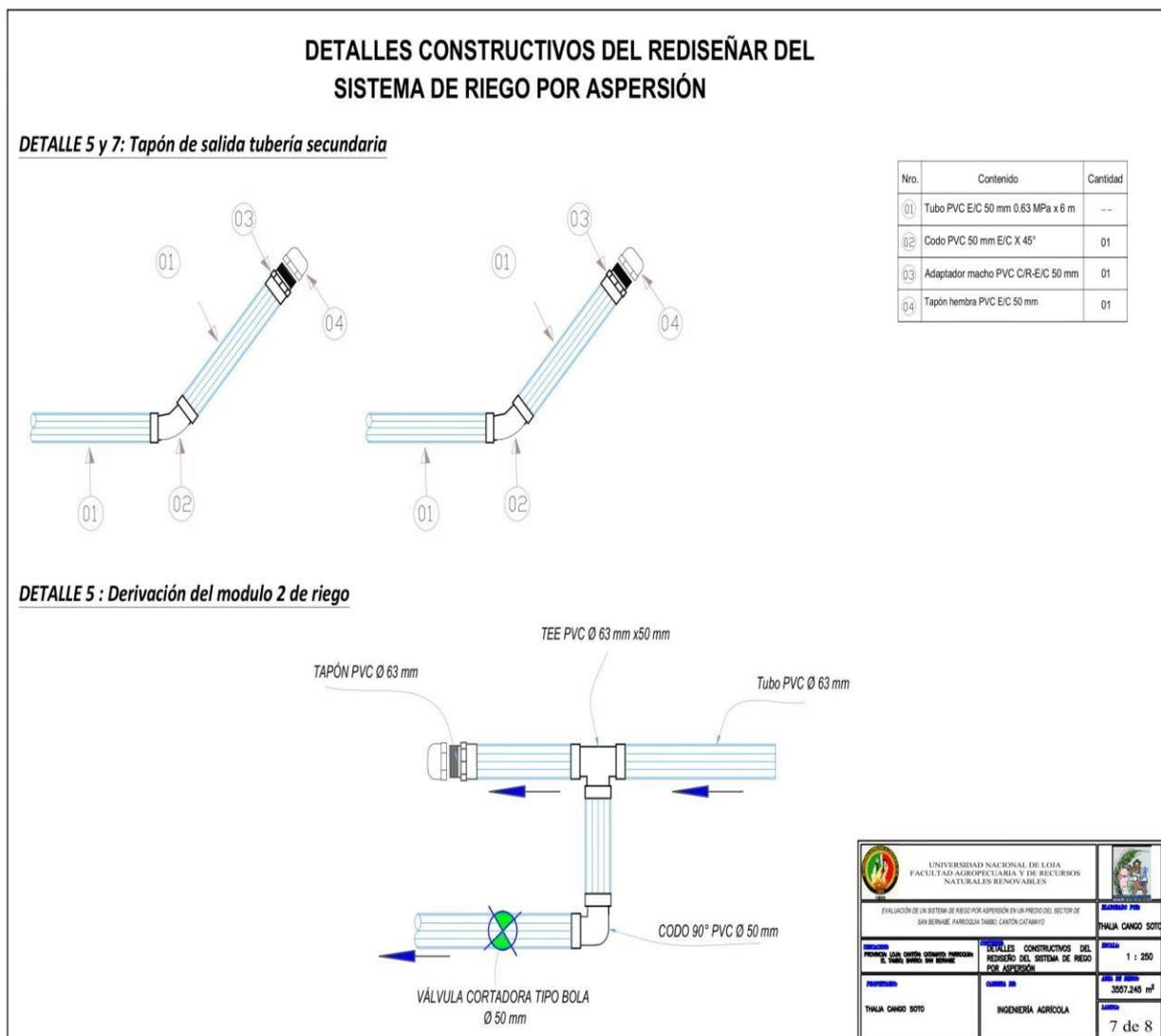
**Elaborado:** Autora

➤ **Detalles constructivos del sector de riego**

En la figura 18, se presentan los detalles constructivos de la salida de la tubería secundaria para cada sector de riego y de la derivación del módulo 2 de riego. En los detalles 5 y 7, los accesorios de salida de la tubería secundaría son: un codo PVC 50 mm 45°, un adaptador macho PVC 50 mm y un tapón hembra PVC 50 mm. Además, en el detalle 5 se muestra la derivación del sector 2 de riego, la cual está conformada por: un tapón PVC 63 mm para tapar el final de la tubería principal; una tee reductora de PVC 63 mm x 50 mm, para derivar el fluido de la tubería principal a la secundaria; y un codo PVC 50 mm 90°, para cambiar la dirección de la tubería secundaria.

**Figura 18.**

*Detalles constructivos de salida de la tubería secundaria y derivación del módulo 2 de riego*



**Elaborado:** Autora

### 6.2.8. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico del riego por aspersión se realizó para dos sectores de riego. En el sector 1 se dispone de 10 laterales con un total de 19 aspersores, en cambio el sector 2 cuenta con 5 laterales con un total de 15 aspersores. Los resultados del diseño hidráulico se indican en las Tablas 24, 25 y 26. (En el anexo 24 se detalla los cálculos del diseño hidráulico).

#### 6.2.8.1. Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego

La Tabla 24, detalla el diseño de la tubería lateral y secundaria para el sector de riego 1. Donde la longitud del lateral es de 25,00 m, con un diámetro nominal de 32 mm y el caudal es de 0,56 l/s. Estos valores generan una velocidad del agua de 0,91 m/s, con una pérdida de carga por fricción de 0,43 mca y una presión requerida en la entrada del lateral de 21,86 m y al final de 20,35 m. En cuanto a la tubería secundaria, tiene una longitud de 122,70 m, con un diámetro nominal de 50 mm y el caudal es de 2,94 l/s, dichos valores producen una velocidad del agua de 1,67 m/s con una pérdida de carga por fricción de 2,65 mca y una presión requerida de 11,51 m.

**Tabla 24.**

*Diseño hidráulico del sector de riego 1*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Presión del emisor	PN	mca	20
Caudal del emisor Rain bird	Qe	l/s	0,28
Caudal del emisor sectorial	Qe	l/s	0,14
Pérdida de carga máxima admisible	h máx	m	4
<b>Lateral de riego</b>			
Longitud	LI	m	25,00
Caudal	QI	l/s	0,56
Pérdida de carga	Hf	m	0,43
Velocidad del agua	V	m/s	0,91
Presión requerida en la entrada	Po	m	21,86
Presión al final	Pu	m	20,35
<b>Tubería secundaria de riego</b>			
Longitud	LI	m	122,70
Caudal	QI	l/s	2,94
Pérdida de carga	Hf	m	2,65
Velocidad del agua	V	m/s	1,67
Presión requerida en la entrada	Po	m	11,51

**Elaborado:** Autora

La Tabla 25, detalla el diseño de la tubería lateral y secundaria para el sector de riego 2. Donde la longitud de la tubería lateral es de 31,85 m, con un diámetro nominal de 32 mm y el caudal es de 0,56 l/s. Dichos valores originan una velocidad del agua de 0,91 m/s, con una pérdida de carga por fricción de 0,55 mca y una presión requerida en la entrada de 21,82 m y al final de 20,46 m. Con respecto a la tubería secundaria, tiene una longitud de 58,34 m, un diámetro nominal de 50 mm y el caudal es de 2,80 l/s, estos valores producen una velocidad del agua de 1,59 m/s, con una pérdida de carga por fricción de 1,22 mca y una presión requerida en la entrada de 8,53 m.

**Tabla 25.**

*Diseño hidráulico del sector de riego 2*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Presión del emisor	PN	mca	20
Caudal emisor Rain bird 2045	Qe	l/s	0,28
Caudal del emisor sectorial	Qe	l/s	0,14
Pérdida de carga máxima admisible	h máx	m	4
<b>Lateral de riego</b>			
Longitud	LI	m	31,85
Caudal	QI	l/s	0,56
Pérdida de carga	Hf	m	0,55
Velocidad del agua	V	m/s	0,91
Presión requerida en la entrada	Po	m	21,82
Presión al final	Pu	m	20,46
<b>Tubería secundaria de riego</b>			
Longitud	LI	m	58,34
Caudal	QI	l/s	2,80
Pérdida de carga	Hf	m	1,22
Velocidad del agua	V	m/s	1,59
Presión requerida en la entrada	Po	m	8,53

**Elaborado:** Autora

### **6.2.8.2. Diseño de la tubería principal**

El diseño de la tubería principal, se realizó para una longitud de tubería de 78,65 m, con un diámetro nominal de 63 mm y una presión de trabajo de 0,63 Mpa. En la Tabla 26, se detallan los resultados del diseño; donde el caudal que circulará por la tubería es de 2,94 l/s, con una velocidad de agua de 1,05 m/s, la cual se encuentra dentro del rango óptimo, generando una pérdida de carga de 1,46 mca. Finalmente, el valor de la carga dinámica total del sistema de riego por aspersión es de 34,31 mca.

**Tabla 26.***Diseño hidráulico de la tubería principal*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud	LI	m	78,65
Caudal	QI	l/s	2,94
Pérdida de carga	Hf	m	1,46
Velocidad del agua	V	m/s	1,05
Carga dinámica Total	CDT	mca	34,31

**Elaborado:** Autora**6.2.9. Costos del sistema de riego por aspersión**

En la Tabla 27, se detalla el presupuesto total del rediseño del sistema de riego por aspersión para el predio del sector del sector San Bernabé, el cual es de \$ 1768,34; para una superficie de terreno de 0,36 ha.

**Tabla 27.***Presupuesto del rediseño de riego por aspersión.*

Rubro	Cantidad	U	Precio	Total
<b>Cabezal de riego</b>				
Tubo PVC E/C 40 mm x 0,63 Mpa x 6m	1	U	6,38	6,38
Codo PVC 40 mm E/C x90°	4	U	0,82	3,28
Válvula esférica con universal PVC E/C 40 mm	2	U	4,30	10,90
Adaptador macho PVC C/R-E/C 40 mm	2	U	0,69	1,38
Válvula de compuerta 40 mm	1	U	33,84	33,84
Válvula de aire doble acción 3/4"	1	U	4,60	4,60
Montura PVC 32 mm x 3/4"	3	U	1,72	5,16
Adaptador hembra PVC C/R- E/C 32 mm	2	U	0,71	1,42
Filtro de anillas de 120 Mesh de 32 mm	1	U	17,17	17,17
Manómetros de glicerina 3/4" + adaptador	2	U	14,75	29,50
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 113,63</b>
<b>Tubería principal</b>				
Tubo PVC 63 mm x 6 m x 0,63 Mpa	13	U	14,84	192,92
Codo PVC 90° 63 mm	1	U	1,65	1,65
Tee reductora PVC 63 mm x 50 mm	3	U	2,42	7,26
Adaptador macho PVC 63 mm	1	U	1,60	1,60
Tapón hembra PVC 63 mm	1	U	0,87	0,87
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 204,30</b>
<b>Tubería secundaria</b>				
Tubo PVC 50 mm x 6 m x 0,63 Mpa	30	U	12,94	388,20
Codo PVC 90° 50 mm	13	U	0,85	11,05
Codo PVC 45° 50 mm	3	U	1,05	3,15
Válvula bola PVC 50 mm	3	U	8,43	25,29

Adaptador macho PVC 50 mm	9	U	1,13	10,17
Tapón hembra PVC 50 mm	3	U	0,46	1,38
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 439,24</b>

#### Laterales de riego

Manguera lisa PE 32 mm x 100 m x 0,40 Mpa	284,49	m	0,70	199,15
Tee reductora de 50 mm x 32 mm	15	U	1,05	15,75
Collarín 32 mm x 3/4"	34	U	1,46	49,64
Codo 45° 32 mm	15	U	0,40	6,00
Adaptador macho 32 mm	15	U	0,69	10,35
Tapón hembra 32 mm	15	U	0,59	8,85
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 289,74</b>

#### Aspersores

Aspersor Rain bird 2045 P-J	7	U	11,82	82,74
Aspersor 1/2" M sectorial plástico P27	27	U	5,51	148,77
Acople rápido 25 mm	34	U	9,20	312,80
Llave de acople rápido 25 mm	34	U	2,86	97,24
Tuvo PVC 25 mm x 6 m	12	U	3,39	40,68
Adaptador hembra PVC 25 mm x 1/2"	34	U	0,21	7,14
Adaptador hembra PVC 25 mm	34	U	0,31	10,54
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 699,91</b>

#### Material adicional

Teflón amarillo	1	U	1,10	1,10
Poli-limpia 1000 cc	1	U	10,33	10,33
Poli pega 1000 cc	1	U	10,09	10,09
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 21,52</b>
<b>Costo total</b>			<b>\$ 1768,34</b>	

**Elaborado:** Autora

## 7. Discusión

### 7.1. Evaluar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé para el cultivo de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*)

#### ➤ Caracterización de los componentes del sistema de riego

En la caracterización de los componentes del sistema de riego, luego de inspeccionar todo el sistema, se comprobó que el sistema de riego del predio del sector de San Bernabé, dispone de todos sus componentes esenciales para su funcionamiento, como su fuente de agua, fuente de energía, tuberías de distribución; primaria, secundaria y laterales de riego. Además, cuenta con sus respectivos aspersores y accesorios para la distribución del agua. Esto se corrobora con lo mencionado por Tarjuelo (1991), quien indica que para que exista un buen funcionamiento del sistema de riego, debe estar integrado por todos sus componentes. Por otro lado, Ramos y Báez (2013) señalan que la operación y el mantenimiento de los componentes que integran un sistema de riego por aspersión, son importantes para asegurar su correcto funcionamiento.

#### ➤ Evaluación de la uniformidad de riego

La uniformidad de distribución e instalación del riego es de 66,54 % y 63,24 %, mientras que el coeficiente de uniformidad de Christiansen es de 76,79 %. Estos valores indican una baja uniformidad del riego en la parcela, debido a un deficiente diseño del sistema riego, una deficiente instalación de los laterales de riego en dirección de la pendiente del terreno y por el tamaño de gotas finas, las cuales son rápidamente arrastradas por el viento, afectando la uniformidad del riego por aspersión. Dichos valores de uniformidad se corroboran con Fernández et al. (2010), quienes establecen que valores de uniformidad de riego < 75 %, son catalogados inaceptables y con respecto al valor del coeficiente de uniformidad, según los criterios de Christiansen (1942) citado en Díaz y Herrera (2019), es considerado inaceptable.

Por otra parte, estos resultados se corroboran con Poma (2014), quien en una de sus pruebas de evaluación del riego por aspersión, obtuvo un coeficiente de uniformidad bajo del 73,94 %, debido a un deficiente diseño de riego, que es el principal factor, ya que al no estar correctamente diseñado afecta a la uniformidad del riego. López et al. (2019), también establecen que la dirección de los laterales de riego, influye en la distribución uniforme del agua.

Además, Dechmi et al.(2000) señalan que la baja uniformidad de riego se debe al tamaño de las gotas originadas por el aspersor, ya que las gotas más finas son fácilmente arrastradas por el viento. Estos autores también mencionan que otro factor que influye en la uniformidad es el diseño del sistema de riego, es el marco de riego.

➤ **Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA)**

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento son del 47,28 %, debido a la mayor cantidad de gotas finas originadas por los aspersores, las cuales son fácilmente arrastradas por el viento, provocando una elevada pérdida de agua por evaporación y arrastre. Este valor se corrobora con Tarjuelo (2005), quien establece que en las pérdidas por evaporación y arrastre del viento, se debe tener en cuenta el tamaño de las gotas que generan los aspersores; cuanto más pequeñas sean las gotas, mayores serán las pérdidas. Además, Sudheer y Panda (2000), citados por Paniagua (2016), mencionan que el tamaño de gotas de un aspersor influye en las pérdidas por evaporación y arrastre del viento; es decir, a menor tamaño de gotas mayor evaporación, debido al arrastre por el viento. Así mismo Fernández et al. (2010), afirman que las pérdidas por evaporación y arrastre del viento son elevadas cuanto menor es el tamaño de la gota generada por el aspersor.

➤ **Evaluación del índice de grosor de la gota (IG)**

El valor promedio de índice de grosor de la gota para la boquilla de 3,5 mm es de 12, lo que indica que el agua liberada por la boquilla, se disgrega en gotas adecuadas. En cambio, para la boquilla de 1,8 mm, el IG de gota fue de 23,34 lo cual indica que el agua liberada se fracciona en gotas muy finas, este valor muestra la evaporación de las gotas debido al viento, afecta la distribución del agua, ya que gotas más finas son más propensas a evaporarse. Estos valores se corroboran con Fernández et al. (2010), quienes mencionan que el índice de grosor de gota recomendable se encuentra en el rango de 7 a 17. Valores inferiores a 7 indican gotas muy gruesas y valores superiores a 17 indican gotas muy finas.

➤ **Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea)**

El sistema de riego, presenta una baja eficiencia de aplicación, con un valor de 41,15 %, debido a un exceso de presión ocasionada por la deficiencia en la instalación de los laterales de riego a favor de la pendiente del terreno, lo cual genera una cantidad elevada de gotas finas, provocando mayor arrastre por el viento y evaporación.

Este valor se corrobora con Faci et al. (2006), quienes manifiestan que un alto porcentaje de pérdidas de agua por evaporación y arrastre del viento influye en la eficiencia

sistema de riego por aspersión. Por otra parte, Tarjuelo et al.( 2000), citado por Bonet et al. (2022), señalan que una elevada cantidad de gotas finas puede provocar que el agua se evapore o sea, arrastrada por el viento antes de llegar al suelo, reduciendo la eficiencia del riego por aspersión. De la Cruz (2015), también afirma que la eficiencia de aplicación del riego es baja debido a una mala instalación, lo que ocasiona una baja uniformidad en la distribución del riego.

Por tal razón, en el rediseño propuesto se sugiere ajustar la separación entre aspersores, la ubicación de los laterales de riego y mejorar la presión de trabajo para reducir las pérdidas por evaporación y arrastre, disminuyendo el índice de grosor de gotas finas y obteniendo una buena uniformidad en la distribución del riego, tal como mencionan Playán et al (2005). Estas mejoras optimizarían el uso del agua, lo cual es esencial para el manejo sostenible del recurso hídrico en la región.

## **7.2.Realizar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento para el sistema de riego por aspersión en un predio del sector de San Bernabé.**

### **➤ Constantes hidrofísicas y físicas del suelo**

En el suelo del predio el porcentaje de agua aprovechable es de (12,08 %), lo que indica que el porcentaje de agua existente, es beneficiosa para el cultivo. Esto se respalda con Valarezo et. al (1998), quienes establecen que los rangos de AA entre el 10 y 15 %, son convenientes para un adecuado desarrollo de las plantas. Así mismo, Kirkham (2014) menciona que los suelos con un elevado contenido de agua aprovechable tienen un alto potencial para la producción de biomasa vegetal, en comparación con suelos con bajo contenido. Por otra parte, la capacidad de aireación es del (7,47 %), lo que indica un nivel de aireación bajo. Esto se corrobora con Valarezo et al. (1998), quienes mencionan para un buen desarrollo del cultivo, la capacidad de aireación del suelo debe estar dentro del rango del 10 – 15 %. Con respecto al porcentaje de volumen de poros físicamente inerte es del (80,45 %), lo cual se considerada muy alto, indicando una gran cantidad de poros inútiles, que no aportan aire ni agua a la planta. Mediante el diagrama triangular se evaluaron las condiciones físicas del suelo, ubicándolo en la zona I, equivalente a la clase muy pobre (Anexo 19).

En el suelo de la zona de estudio se obtuvo una velocidad de infiltración básica promedio de 117, 12 mm/h, que según la clasificación de la USDA (2006) citado en Amancha (2015), este valor se encuentra dentro del rango de 65 – 150 mm/h, catalogada como moderadamente rápida. Esta información se corrobora con los datos del Instituto Geográfico

Agustín Codazzi (IGAC et al. 1990), que establecen que una velocidad de infiltración básica, entre un rango de 63- 127 mm/h se considera moderadamente rápida. Además, Villa y Ferrer (2005), citados por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTierras 2014), indican que, según la clase textural, la velocidad de infiltración en un suelo franco arenoso se considera moderadamente rápida.

#### ➤ **Necesidades Hídricas del cultivo**

En la zona de estudio, la mayor evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), se presentó en el mes de noviembre con 4,16 mm/día, mientras que la menor ET<sub>o</sub> se registró en el mes de junio con 3,49 mm/día. En este estudio se utilizó el método Penman- Monteith mediante el programa CROPWAT. Estos resultados se corroboran con Castillo (2020), quien realizó un estudio en la parroquia el Tambo, obteniendo una ET<sub>o</sub> máxima de 4,39 mm/día en noviembre y una mínima de 3,37 mm/día en junio. Por otro lado, Luna (2017) reportó valores más altos, en su estudio sobre la misma parroquia, con una ET<sub>o</sub> máxima de 4,70 mm/día en septiembre y una mínima de 3,90 mm/día en febrero. La FAO (2006) afirma que la ET<sub>o</sub> puede verse alterada por parámetros climáticos como la radiación solar, la humedad relativa, la temperatura del aire y la velocidad del viento.

Según el criterio de la FAO (2006), se estimaron los valores de K<sub>c</sub> para el cultivo de hierba luisa, de acuerdo a sus respectivas etapas fenológicas, siendo el valor máximo de K<sub>c</sub> 1,00 y el mínimo de 0,98. Estos resultados se diferencian notablemente de los obtenidos por Luna (2017), quien reportó un valor máximo de K<sub>c</sub> de 1,15 y un valor mínimo de K<sub>c</sub> de 0,60 para el mismo cultivo. Spano et al., (2009) afirman que los valores de K<sub>c</sub> pueden variar de acuerdo a diferentes factores, como la morfología de la planta, la fisiología del cultivo, el método de riego, la frecuencia de riego y la precipitación.

En cuanto a los valores de la evapotranspiración del cultivo de hierba luisa, la mayor ET<sub>c</sub> se presentó en el mes de noviembre con 4,08 mm/día, siendo un dato importante para el diseño del sistema de riego, mientras que la menor ET<sub>c</sub> se obtuvo en junio con 3,49 mm/día. Dichos datos difieren notoriamente de los obtenidos por Luna (2017), quien reportó para el mismo cultivo una mayor ET<sub>c</sub> en septiembre con 5,4 mm/día y una menor ET<sub>c</sub> en marzo con 2,4 mm/día. Salazar (2023) indica que la ET<sub>c</sub> puede variar debido a factores como el clima, el cultivo y las condiciones de manejo y ambientales.

La mayor precipitación efectiva en la zona de estudio se presentó en el mes de marzo con 122,70 mm/mes, mientras que la menor P<sub>e</sub> se estimó en agosto con 14,90 mm/mes. Estos resultados coinciden con la investigación de Castillo (2020), quien reportó una mayor P<sub>e</sub> de

118 mm/mes en marzo y una menor Pe de 14,5 mm/mes en agosto, en un estudio sobre la parroquia del Tambo, mostrando similitud con los datos obtenidos para la zona de estudio. Por otro lado, Luna (2017) también presenta resultados cercanos para la misma zona, con una mayor precipitación en marzo con 117,7 mm/mes y una menor precipitación en septiembre con 14,6 mm/mes, siendo estos datos cercanos a los obtenidos en el presente estudio.

### **7.2.1. Diseño agronómico**

Se determinó una frecuencia de riego de 4 días, por un tiempo de riego de 3 horas, con la finalidad de satisfacer una lámina de riego de 21,76 mm para el cultivo. Dicha frecuencia de riego coincide con la que se está regando el cultivo y es adecuada para el diseño de riego, ya que no supera una semana, evitando así que el cultivo sufra un estrés hídrico, esto se corrobora con Fernández et al. (2010), quienes indican que la frecuencia de riego no debe ser superior a una semana, ya que existe el riesgo de que el cultivo sufra un déficit de agua.

La intensidad de precipitación del aspersor de círculo completo Rain bird 2045 PJ es de 7,00 mm/h, la cual es inferior a la velocidad de infiltración básica de 117, 12 mm/h. Por lo tanto, se cumple con la condición  $I_p \leq VIB$  asegurando que la selección del aspersor, la separación entre los ramales y distancia entre aspersores, es la adecuada para evitar la escorrentía superficial. Esto concuerda con Alocén (2007), quien considera que en un diseño de riego por aspersión, si el caudal que arrojan los aspersores es demasiado alto respecto a la velocidad de infiltración, puede originarse la escorrentía superficial. Así mismo, esto se corrobora con Montero (2000) quien establece que los sistemas de riego por aspersión deben diseñarse para aplicar el agua a una tasa inferior a la velocidad de infiltración con el fin de impedir la escorrentía.

### **7.2.2. Diseño hidráulico**

En el diseño hidráulico para el primer sector de riego, la velocidad del flujo en el lateral es de 0,91 m/s y en la tubería secundaria es de 1,67 m/s. En el segundo sector de riego, la velocidad del agua en el lateral es de 0,91 m/s y en la tubería secundaria es de 1,59 m/s. En la tubería principal, la velocidad del agua es de 1,05 m/s. Estos valores son considerados aceptables ya que se encuentran en concordancia con lo establecido por Monge (2018), quien establece que para tuberías principales y secundarias el rango de velocidad del agua es de 0,50 - 2,50 m/s, mientras que para laterales es de 0,50- 2,00 m/s.

En el primer sector de riego, la presión en la entrada del lateral es de 21,86 m y disminuye a 20,35 m al final. En el segundo sector, la presión inicial es de 21,82 m y al final del lateral es de 20,46 m. Dado que el 20 % de la presión de funcionamiento del aspersor es 4

m, las diferencias de presión a lo largo de los laterales son de 1,51 m para el sector uno y 1,36 m para el sector dos, ambas inferiores a los 4 m permitidos. Por lo tanto, se cumple la condición de diseño, en concordancia con Tarjuelo (1991), quien indica que la diferencia de presión entre el primer y último aspersor en un lateral no debe superar el 20% de la presión nominal del aspersor.

## **8. Conclusiones**

- El sistema de riego por aspersión en la parcela del sector de San Bernabé presenta deficiencias significativas en la uniformidad de aplicación del agua y la eficiencia del sistema.
- La baja uniformidad del riego y las pérdidas por evaporación y arrastre del viento indican la necesidad de ajustes en el diseño agronómico e hidráulico.
- El rediseño propuesto podría mejorar considerablemente la distribución del agua, aumentando la productividad del cultivo de hierba luisa y reduciendo el desperdicio de agua.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda implementar el rediseño propuesto, que incluye un ajuste en la separación de los aspersores y una mejora en el control de la presión de operación, para aumentar la eficiencia del sistema de riego por aspersión en la parcela evaluada.
- Se sugiere realizar un mantenimiento periódico y capacitar a los operadores en técnicas de manejo y mantenimiento para reducir las pérdidas de agua en el sistema de riego.
- Finalmente, se recomienda el uso de tecnologías automatizadas para mejorar la gestión del agua y asegurar una mayor sostenibilidad del sistema de riego.

## 10. Bibliografía

Albert, F. (2015). *Manejo, riego y abonado del suelo*. Ediciones Paraninfo, S.A. [https://www.google.com.ec/books/edition/Manejo\\_riego\\_y\\_abonado\\_del\\_suelo/GylWCgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=q+es+suelo+en+riego&pg=PA45&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Manejo_riego_y_abonado_del_suelo/GylWCgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=q+es+suelo+en+riego&pg=PA45&printsec=frontcover)

Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.

Amancha, E. P. (2015). *Determinación de la permeabilidad de los suelos basados en la metodología del infiltrómetro de mini disco en la zona de Yanahurco, Napo*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>

Andrade, C. A. (2018). *Evaluación de los diferentes tipos de riego en cultivos agrícolas* [Tesis de grado, Universidad Laica «Eloy Alfaro» de Manabí]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/ULEAM-AGRO-0029.pdf>

Arias, A. (2001). *Suelos Tropicales*. EUNED. [https://www.google.com.ec/books/edition/Suelos\\_Tropicales/L6TaVpWk8goC?hl=es419&gbpv=1&dq=que+es+el+suelo&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Suelos_Tropicales/L6TaVpWk8goC?hl=es419&gbpv=1&dq=que+es+el+suelo&printsec=frontcover)

Bermeo Ortiz, L. A. (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 grado, Quevedo: Ecuador]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6010>

Bonet, C., Agramonte, A., Mola, B., Rodríguez, D., Guerrero, P., & Morales, Y. (2022). Pérdidas por evaporación y arrastre en diferentes técnicas de riego por aspersión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(1), 3-8.

Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego*. CONGOPE.

Caiza Punina, J. M., & Cuchiye Changoluisa, L. A. (2022). *Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de banano (Musa paradisiaca) en el cantón La Maná recinto San Eduardo*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8592/1/UTC-PIM-%20000466.pdf>

Calderón, F., Esquivel, E., & Acevedo, M. (2019). Manejo nutricional y de riego en minijardines clonales de *Tectona grandis* (Linn. F) en la zona sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 16(39), 43-52. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i39.4427>

- Camejo Barreiro, L. E., Duarte Naranjo, L., & Guerra Hernández, G. (2017). Agronomic design in central pivot machines, performance and water and energy saving. (2), 3-16.
- Campoverde Bautista, W. J. (2018). *Tecnificación del riego parcelario mediante la aplicación de hojas excel* [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/13029>
- Cardozo, M. E., & Diaz, M. J. (2014). *Diseño de un sistema de riego por aspersión la finca el Cedro ubicada en el municipio de Aquitania* [Trabajo de grado, Universidad Militar nueva Granada]. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13035/die%2b%c3%82%c2%aa0\\_sistema\\_de\\_riego\\_finca\\_el\\_cedro%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13035/die%2b%c3%82%c2%aa0_sistema_de_riego_finca_el_cedro%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castillo, J. E. (2020). *Mejoramiento del sistema de riego por aspersión en café, en el barrio “La Era”, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/23314>
- Cevallos, A. S. (2012). “*Determinación del Límite Líquido y Plástico de los Suelos Mediante el Uso del Penetrómetro Cónico*” [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6403/9.20.001327.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cleves L., J. A., Toro C., J., & Martínez B., L. F. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149-163. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- De la Cruz, M. (2015). *Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión Pacuri-socos- Ayacucho* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1923/3/Tesis%20IAG56\\_Del.pdf](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1923/3/Tesis%20IAG56_Del.pdf)
- Dechmi, F., Playán Jubillar, E., Faci González, J. M., & Bercero, Á. (2000). *Uniformidad de los sistemas de riego por aspersión en el polígono de la Loma de Quinto (Zaragoza)*. 9.
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. 34
- Díaz, V. S., & Herrera, M. R. (2019). *Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca experimental el Plantel, de la Universidad*

Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016-2017 [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3897/>

Faci, J. M., Jubillar, E. P., Ruiz, N. Z., Cob, A. M., & Dechmi, F. (2006). *El viento y el riego por aspersión en los regadíos de Aragón*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/4101/1/Play%C3%A1nE-Surcos2006.pdf>

Fernández, R., Oyonarte, N., Garcia, J., Yruela, M., Milla, M., Ricardo, Á., & Gavilán, P. (2010). *Manual de Riego para Agricultores (Signatura)*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

FAO, (2006). *Evapotranspiración del Cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma Italia. 298 p.

Flórez, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos-Barbosa, E. A., Deus, F. P., Diego-Ribeiro, M., & Eiji-Matsura, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119.

Fuentes, J. L. (2003). *Técnicas de riego*. Mundi-Prensa Libros. [https://books.google.com.ec/books?id=PFByIgVfNoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=PFByIgVfNoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Guerra, C. R., & Lozano, S. (2014). *UF0001—El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Editorial Elearning, S.L. [https://books.google.com.ec/books?id=bFpWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bFpWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Guerrero Arias, M. P. (2012). *Diseño de un Sistema de Riego por Aspersión con Automatización para el Sector de Ugñag, Cantón Penipe*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2477>

Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. IICA. [https://books.google.com.ec/books?id=rFx9YVVKQnsC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=rFx9YVVKQnsC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Gutiérrez, M. J., & Díaz, G. N. (2016). *Evaluación del sistema de riego, por aspersión en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología INTA-CNIAB*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://ribuni.uni.edu.ni/1749/>

Holzapfel, E. A., Pardo, X. M., Paz, V. P. da S., Rodrigues, A., Orrego, X. C., & Lopez, M. A. (2007). Análisis técnico-económico para selección de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11((6)), 557-563. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600002>

IGAC, Malagon, D., & Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [https://books.google.com.ec/books/about/Propiedades\\_f%C3%ADsicas\\_de\\_los\\_suelos.html?id=UC7IMgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Propiedades_f%C3%ADsicas_de_los_suelos.html?id=UC7IMgEACAAJ&redir_esc=y)

Israelsen, O. W., & Hansen, V. E. (2021). *Principios y aplicaciones del riego*. Reverte. [https://books.google.es/books?id=VJIUEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=VJIUEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

INEC, I. N. de E. y C. (2020). Dirección / Departamento Unidad Elaborado por: Revisado por: Aprobado por: Contacto : *Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Municipales*.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Demin, P. Catamarca - La Rioja, Argentina. 24 p. ISBN: 978-987-521-512-2

Jiménez, R. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22595>

Kirkham, M. (2014). Principles of soil and plant water relations. Academic Press. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Y5r8AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Kirkham,+M.+\(2014\).+Principles+of+soil+and+plant+water+relations.+Academic+Press.&ots=kbqbD2yeus&sig=CTk-ioyEswZQbHz0rg96yzlk43k#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Y5r8AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Kirkham,+M.+(2014).+Principles+of+soil+and+plant+water+relations.+Academic+Press.&ots=kbqbD2yeus&sig=CTk-ioyEswZQbHz0rg96yzlk43k#v=onepage&q&f=false)

Legarda, L., Puentes, G., & Benavides Guerrero, H. (1999). Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 16(1-2), 98-109.

López, M., Carmenates, D., Mujica, A., & Paneque, P., (2019). Criterios de eficiencia para la evaluación del riego por aspersión. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(3), 1-7.

Luna Chalán, A. A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (sig)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/19710>

MAATE, (2021-2026). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. *Plan Nacional de Riego y Drenaje*.131.

Mena, M. (2014). “*Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia, en el Cantón Montufar, parroquia La Paz, Provincia del Carchi.*” [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/964/1/TESIS%20MARCO%20MENA.pdf>

Monge Redondo, M. Á. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión (Primera)*. Editorial Agrícola Española, S.A.

Montero, J. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario: Desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión, SIRIAS [Microforma]* [Tesis Doctoral, Univ de Castilla La Mancha]. [https://books.google.com.ec/books?id=cSSINOIAEdkC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=cSSINOIAEdkC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Moratiel, R. (2017). *Riego en cultivos: Fundamentos y manejo*. Ediciones Mundi-Prensa. [https://www.google.com.ec/books/edition/Riego\\_en\\_cultivos\\_fundamentos\\_y\\_manejo/f6s2DwAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=QUE+es+la+uniformidad+de+la+instalaci%C3%B3n+del+riego+por+aspersi%C3%B3n&pg=PA161&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Riego_en_cultivos_fundamentos_y_manejo/f6s2DwAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=QUE+es+la+uniformidad+de+la+instalaci%C3%B3n+del+riego+por+aspersi%C3%B3n&pg=PA161&printsec=frontcover)

Moratiel Yugueros, R. (2015). *Operaciones auxiliares de riego en cultivos agrícolas*. Ediciones Paraninfo, S.A. [https://www.google.com.ec/books/edition/Operaciones\\_auxiliares\\_de\\_riego\\_en\\_culti/dU4jCgAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=Necesidades+h%C3%ADdricas+del+cultivo&pg=PA13&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Operaciones_auxiliares_de_riego_en_culti/dU4jCgAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=Necesidades+h%C3%ADdricas+del+cultivo&pg=PA13&printsec=frontcover)

More Medrano, H. F. (2021). *Análisis comparativo entre métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región de Tumbes* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/2569>

Moreno, A. (2019). *Programación y control del riego y la fertilización de los cultivos*. Ediciones Paraninfo, S.A.

[https://books.google.com.ec/books?id=HSWVDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gs\\_bse\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=HSWVDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gs_bse_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Naroua, I., Rodríguez, L., Sánchez, R., & Rodríguez, J. (2012). Evaluación de los sistemas de riego por aspersión en la Comunidad de Regantes “Río Adaja” y propuestas para la mejora del manejo del riego. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1-11.

Navarro, S. García. G. G. (2013). *Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Ediciones Mundi-Prensa. [https://www.google.com.ec/books/edition/Qu%C3%ADmica\\_agr%C3%ADcola\\_qu%C3%ADmica\\_del\\_suelo\\_y/RSS6AgAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=tipos+de+infiltraci%C3%B3n+del+agua+en+el+suelo&pg=PA153&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Qu%C3%ADmica_agr%C3%ADcola_qu%C3%ADmica_del_suelo_y/RSS6AgAAQBAJ?hl=es419&gbpv=1&dq=tipos+de+infiltraci%C3%B3n+del+agua+en+el+suelo&pg=PA153&printsec=frontcover)

Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., & Pino, M. (2018). *Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4880/Informativo%20INIA%20N%20b0%2079?sequence=1&isAllowed=y>

Ojeda, W., Sifuentes, E., Rojano, A., & Iñiguez, M. (2012). La adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En *Adaptación al cambio climático: Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*, (Vol. 4, pp. 65-113).

Paniagua Antón, P. (2016). *Mejora del riego por aspersión en parcela: Caracterización de aspersores a baja presión, estudio de diferentes sistemas de medición de gotas y análisis del modelo balístico* [Tesis Doctoral, CSIC - Estación Experimental de Aula Dei (EEAD)]. <https://digital.csic.es/handle/10261/131843>

Pereira, L., D Juan Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. [http://crea.uclm.es/crea/descargas/\\_files/El\\_Riego\\_y\\_sus\\_Tecnologias.pdf?fbclid=IwAR2Gmw5Cu4TfCzHqZdmGmPvvIYH0rGYbCqCXZ1Knf151oj13nxjCQBE5t0w](http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf?fbclid=IwAR2Gmw5Cu4TfCzHqZdmGmPvvIYH0rGYbCqCXZ1Knf151oj13nxjCQBE5t0w)

PDOT. (2020, 2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial El Tambo*. <https://eltambo.gob.ec/pdot/>

Peñaloza, X. (2009). *INGENIERÍA CIVIL - H I D R Á U L I C A P R E S E N T A*: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/3451/1/pe%C3%B1alozarueda.pdf>

Pernett, X. (2006). *Proceso para cuantificar e interpretar las características físicas y químicas del suelo que reglan su función en relación con el agua, el almacenamiento de nutrientes y la infiltración: Caso de la cuenca de la laguna Fuquene*. International Potato Center. [https://www.google.com.ec/books/edition/Proceso\\_para\\_cuantificar\\_e\\_interpretar\\_l/6GdxYibQ1P4C?hl=es-419&gbpv=1&dq=inauthor:%22Pernett,+X.%22&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Proceso_para_cuantificar_e_interpretar_l/6GdxYibQ1P4C?hl=es-419&gbpv=1&dq=inauthor:%22Pernett,+X.%22&printsec=frontcover)

Pérez, C. (2020). *Estimulación Eléctrica para el Incremento en la Germinación y Crecimiento de Cucumis sativus en un Antrosol Empleando Electroodos Modificados con Óxidos de Metales de Transición* [Tesis de grado, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.]. <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/56909>

Poma, I. B. P. (2014). *Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental de Choquenaira* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/5634>

Poma, I., & Chipana, G. (2016). Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación, mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental Choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(1), 18-29.

Playán, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N., Martínez-Cob, A. y Sanchez, I., 2005. Deriva del viento diurno y nocturno y pérdidas por evaporación en aspersores sólidos y laterales móviles. *Agrícola. Gestión del agua*. 76 (3), 139–159.

Ramos, M. P., & Báez, D. F. (2013). *Diseño y Construcción de un Sistema de Riego por Aspersión en una Parcela Demostrativa en el Cantón Cevallos*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2677>

Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Marcombo. [https://books.google.com.ec/books?id=Kq4NiqtcEIwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Kq4NiqtcEIwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Salazar Altamirano, R. M. (2023). *Determinación del Kc Y Etp en las etapas fenológicas de (Allium cepa L) Variedad Burguesa, bajo las condiciones climáticas de Querochaca* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/38326>

Sarango Calva, A. D. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo en la finca Shaguindo de la parroquia San Pedro de la Bendita*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22691>

Selim, T., Karlsson, L., Bouksila, F., Ben Slimane, A., & Persson, M. (2018). Evaluation of Different Irrigation Treatments with Saline Water in a Future Climate in Tunisia. *Irrigation and Drainage*, 67(4), 281-296. <https://doi.org/10.1002/ird.2307>

Servín Palestina, M., Tijerina Chávez, L., Medina García, G., Palacios Velez, O., & Flores Magdaleno, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 423-430. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61>

Shaxson, F., Nations, F. and A. O. of the U., & Barber, R. (1995). *Optimización de la Humedad Del Suelo Para la Producción Vegetal: El Significado de la Porosidad Del Suelo (Boletines de Suelos de la Fao)*. Food & Agriculture Org. [https://www.google.com.ec/books/edition/Optimizacion\\_de\\_la\\_Humedad\\_Del\\_Suelo\\_Par/K-JwJZw1hMwC?hl=es-419&gbpv=1&dq=q+es+suelo&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Optimizacion_de_la_Humedad_Del_Suelo_Par/K-JwJZw1hMwC?hl=es-419&gbpv=1&dq=q+es+suelo&printsec=frontcover)

SIGTierras. (2014). Levantamiento de Cartografía temática a escala 1:25000, lotes 1 y 2, velocidad de infiltración. Versión 5.1. recuperado a partir de [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Velocidad\\_infiltracion\\_10052016.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Velocidad_infiltracion_10052016.pdf)

Spano, D., Snyder, R., Sirca, C., & Duce, P. (2009). ECOWAT—A model for ecosystem evapotranspiration estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1584-1596. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.04.011>

Stambouli, T., Zapata Ruiz, N., Martínez-Cob, A., & Faci González, J. M. (2011). *Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa*. <https://digital.csic.es/handle/10261/43449>

Subirós, F. (1995). *Cultivo de la Caña de Azúcar*. EUNED.  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Cultivo\\_de\\_la\\_Ca%C3%B1a\\_de\\_Az%C3%BAcar/2wpC1j2AmkAC?hl=es419&gbpv=1&dq=ventajas+del+sistema+de+riego+por+aspersi%C3%B3n&pg=PA195&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Cultivo_de_la_Ca%C3%B1a_de_Az%C3%BAcar/2wpC1j2AmkAC?hl=es419&gbpv=1&dq=ventajas+del+sistema+de+riego+por+aspersi%C3%B3n&pg=PA195&printsec=frontcover)

Suárez Tomalá, L. J., & Ortega Andrade, A. R. (2010). *Diseño de un sistema de riego para las áreas verdes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, cantón La Libertad, provincia de Santa Elena* [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena].  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/925>

Tapia-Contreras, F., & Osorio-Ulloa, A. (1999). Conceptos sobre diseño y manejo de riego prezurizado.  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39967/NR29539.pdf?sequence=1>

Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión*. Univ de Castilla La Mancha.  
[https://books.google.es/books?id=wj8hutmvvuAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=wj8hutmvvuAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Tarjuelo, J. M. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología*. Ediciones Mundi-Prensa.  
[https://books.google.com.ec/books?id=2K\\_NwAEACAAJ&dq=inauthor:%22JOSE+MARIA+TARJUELO+MARTINBENITO%22&hl=es419&newbks=1&newbks\\_redir=0&sa=X&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books?id=2K_NwAEACAAJ&dq=inauthor:%22JOSE+MARIA+TARJUELO+MARTINBENITO%22&hl=es419&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y)

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Reverte.  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Los\\_suelos\\_y\\_su\\_fertilidad/VpiUEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=pr%C3%B3piedades+fisicas+del+suelo&pg=PA53&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Los_suelos_y_su_fertilidad/VpiUEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=pr%C3%B3piedades+fisicas+del+suelo&pg=PA53&printsec=frontcover)

Úbeda, J. S., & Delgado, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 4(7), Article 7. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>

Urbano Terron, P. (1988). *Tratado de fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa.  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Tratado\\_de\\_fitotecnia\\_general/P-NIEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=q+es+la+intensidad+de+precipitaci%C3%B3n+del+aspersor&pg=PA325&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Tratado_de_fitotecnia_general/P-NIEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=q+es+la+intensidad+de+precipitaci%C3%B3n+del+aspersor&pg=PA325&printsec=frontcover)

Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones Físicas de los Suelos de la Región Sur del Ecuador. Una Guía para Proyectos de Riego y Drenaje, Manejo y Conservación de Suelos*. Loja, Ecuador.

Valarezo Manosalvas, I. (Abril, 2013). Módulo VI: Sistemas de Riego superficial y presurizado. En U. N. Renovables (Ed.). Loja, Ecuador.

Vélez, H. (2014). *Determinación de las curvas de retención de humedad de un suelo mediante diferentes metodologías para su aplicación en el manejo del riego* [Trabajo Fin de Máster, Universitat Politècnica de València]. <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>

Villacís, M. S. (2012). *Diseño de un sistema de riego por aspersión*. [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1991>

Yambombo Guanutaxi, J. G. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/325>

Zúñiga, É. (2004). *Diseño Y Evaluación Del Riego a Presión*. Editorial Universidad de Costa Rica. [https://www.google.com.ec/books/edition/Dise%C3%B1o\\_Y\\_Evaluaci%C3%B3n\\_Del\\_Riego\\_a\\_Presi/kFT5sHVZOXQC?hl=es419&gbpv=1&dq=Perdidas+de+cargas+en+tuber%C3%ADas+dise%C3%B1o+hidraulico+riego&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Dise%C3%B1o_Y_Evaluaci%C3%B3n_Del_Riego_a_Presi/kFT5sHVZOXQC?hl=es419&gbpv=1&dq=Perdidas+de+cargas+en+tuber%C3%ADas+dise%C3%B1o+hidraulico+riego&printsec=frontcover)

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Levantamiento topográfico del sistema de riego y del predio.



**Anexo 2.** Colocación de vasos pluviométricos en el predio.



**Anexo 3.** Medición del agua recogida en cada pluviómetro.



**Anexo 4.** *Medición de presiones de los aspersores evaluados.*



**Anexo 5.** *Aforo de caudal de los aspersores.*



**Anexo 6.** *Datos de la uniformidad de riego.*

Vaso	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$x_i - \bar{x}$
X1	30	6,71
X2	40	3,29
X3	28	8,71
X4	37	0,29
X5	39	2,29
X6	34	2,71
X7	25	11,71
X8	20	16,71

X9	26	10,71
X10	29	7,71
X11	34	2,71
X12	26	10,71
X13	27	9,71
X14	30	6,71
X15	40	3,29
X16	42	5,29
X 17	45	8,29
X18	19	17,71
X19	48	11,29
X20	40	3,29
X21	41	4,29
X22	30	6,71
X23	46	9,29
X24	70	33,29
X25	38	1,29
X26	51	14,29
X27	40	3,29
X28	53	16,29
<b>Total</b>	1028	238,57
<b>Promedio (Vm)</b>	36,71	
<b>CU (Christiansen)%</b>	76,79	

**Anexo 7.** Datos del 25 % de los pluviómetros que menos volumen recogieron.

<b>Vaso</b>	<b>Volumen (cm3)</b>
X1	28
X2	25
X3	20
X4	26
X5	26
X6	27
X7	19
<b>Total</b>	171
<b>Promedio (V25%)</b>	24,43

➤ **Uniformidad de distribución de la precipitación de los aspersores**

$$UDp(\text{aspersores}) = 100 \times \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

$$UDp(\text{aspersores}) = 100 \times \frac{24,43}{36,71}$$

**UDp (aspersores) = 66,54 %**

**Anexo 8. Presiones de los aspersores evaluados.**

Aspersores	Presión (kg/cm2)
X1	2,35
X2	2,24
X3	2,65
X4	2,96
X5	2,35
X6	2,35
<b>Total</b>	<b>14,7</b>
<b>Promedio</b>	<b>2,48</b>

**P min= 2,24**

**Pm= 2,48**

➤ **Uniformidad de la instalación del sistema de riego**

$$UD \text{ instalación} = UDp(\text{aspersores}) \times \frac{1+3 \times \sqrt{\frac{P_{\min}}{P_m}}}{4}$$

$$UD \text{ inst} = 66,54 \times \frac{1+3 \times \sqrt{\frac{2,24}{2,48}}}{4}$$

**UD inst= 63,24 %**

➤ **Coefficiente de uniformidad de Christiansen**

$$CU = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right)$$

$$CU=100 \times \left( 1 - \frac{238,57}{28 \times 36,71} \right)$$

$$Cu = 76,79 \%$$

**Anexo 9.** Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (PEA).

➤ **Lámina de agua aplicada por los aspersores**

$$La = \frac{Qa}{A} \times t$$

$$La = \frac{24 \frac{l}{min}}{300 m^2} \times 90 min$$

$$La = 7,20 mm$$

➤ **Lámina de agua recogida por los pluviómetros**

$$Lp = \frac{V}{A} \times 10$$

$$Lp = \frac{36,71}{97 cm^2} \times 10$$

$$Lp = 4 mm$$

➤ **Pérdidas por evaporación y arrastre del viento**

$$PEA = 100 \times \frac{La - Lp}{La}$$

$$PEA = 100 \times \frac{7,20 mm - 4 mm}{7,20 mm}$$

$$PEA = 47,28 \%$$

**Anexo 10.** Evaluación del índice de grosor de la gota (IG).

**Diámetro boquilla azul:** 3,5 mm

**Diámetro boquilla verde limón:** 1,8 mm

**Aspersor 1**

$$IG = 12,85 \times \frac{p^{1,3}}{d}$$

$$\text{IG aspersion 1} = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{3,5}$$

$$\text{IG aspersion 1} = 11,15$$

$$\text{IG aspersion 1} = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{1,8}$$

$$\text{IG aspersion 1} = 21,68$$

*Aspersor 2*

$$\text{IG aspersion 2} = 12,85 \times \frac{2,24^{1,3}}{3,5}$$

$$\text{IG aspersion 2} = 10,48$$

$$\text{IG aspersion 2} = 12,85 \times \frac{2,24^{1,3}}{1,8}$$

$$\text{IG aspersion 2} = 20,36$$

*Aspersor 3*

$$\text{IG aspersion 3} = 12,85 \times \frac{2,65^{1,3}}{3,5}$$

$$\text{IG aspersion 3} = 13,03$$

$$\text{IG aspersion 3} = 12,85 \times \frac{2,65^{1,3}}{1,8}$$

$$\text{IG aspersion 3} = 25,34$$

*Aspersor 4*

$$\text{IG aspersion 4} = 12,85 \times \frac{2,96^{1,3}}{3,5}$$

$$\text{IG aspersion 4} = 15,04$$

$$\text{IG aspersion 4} = 12,85 \times \frac{2,96^{1,3}}{1,8}$$

$$\text{IG aspersion 4} = 29,26$$

**Aspersor 5**

$$IG \text{ aspersor } 5 = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{3,5}$$

**IG aspersor 5 = 11,15**

$$IG \text{ aspersor } 5 = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{1,8}$$

**IG aspersor 5 = 21,68**

**Aspersor 6**

$$IG \text{ aspersor } 6 = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{3,5}$$

**IG aspersor 6 = 11,15**

$$IG \text{ aspersor } 6 = 12,85 \times \frac{2,35^{1,3}}{1,8}$$

**IG aspersor 6 = 21,68**

➤ **IG total para boquilla de 3,5 mm**

$$IG = \frac{IGasp1+IGasp2+IGasp3+IGasp4+IGasp5+IGasp6}{6}$$

$$IG = \frac{11,15 + 10,48 + 13,03 + 15,05 + 11,15 + 11,15}{6}$$

**IG = 12,00**

➤ **IG total para boquilla de 1,8 mm**

$$IG = \frac{21,68 + 20,37 + 25,34 + 29,26 + 21,68 + 21,68}{6}$$

**IG= 23,34**

**Anexo 11. Eficiencia de aplicación del sistema de riego (Ea).**

➤ **Determinación de filtración profunda considerando un déficit del 5 % y CU=76,79 %**

Déficit (%)	Filtración profunda (%)				
	CU (%)				
	75	80	85	90	95
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	
10	6	2	1		
15	3	1			
20	1				

Interpolación:

$$Y_x = Y_0 + \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} \times (Y_1 - Y_0)$$

$$Y_x = 13 + \frac{76,79 - 75}{80 - 75} \times (9 - 13)$$

**Y<sub>x</sub> = 11,57 %** filtración profunda

➤ **Eficiencia de aplicación del sistema de riego**

$$E_a = 100 - PEA - \text{Filtración profunda}$$

$$E_a = 100 - 47,28 \% - 11,57 \%$$

**E<sub>a</sub> = 41,15 %**

**Anexo 12. Toma de muestras del suelo.**



**Anexo 13. Prueba de infiltración.**



**Anexo 14. Datos de la prueba de infiltración.**

Tiempo (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lámina de infiltración (cm)	Lámina de infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/min)
5	5	7,4	7,4	0,92
5	10	4,5	11,9	0,70
5	15	6,4	13,8	0,59
5	20	3,6	17,4	0,53
5	25	6	19,8	0,48
5	30	3,7	23,5	0,45
5	35	5,1	24,9	0,42
5	40	7,1	26,9	0,40
5	45	2,4	29,3	0,38
5	50	4,7	31,6	0,37
5	55	7	33,9	0,35
5	60	2,4	36,3	0,34
10	70	4,3	38,2	0,32
10	80	6,5	40,4	0,30
10	90	8	41,9	0,29
10	100	3,2	45,1	0,28
10	110	6,2	48,1	0,27
10	120	3,1	51,2	0,26
15	135	7	55,1	0,25
15	150	4,5	59,6	0,24
15	165	6,1	61,2	0,23
15	180	4,2	65,4	0,22
20	200	7,2	68,4	0,21
20	220	4,2	72,6	0,20
20	240	5,6	78,2	0,20

**Anexo 15. Velocidad de infiltración en el predio.**

$$I_{acum} = A \times T^B$$

$$I_{\text{acum}} = 2,9207x T^{0,5997}$$

$$Vel. Infil. Inst = k * n * T^{n-1} (cm/min)$$

$$Vel. Infil. Inst = (2,92)(0,60)T^{0,60-1} (cm/min)$$

$$Vel. Infil. Inst = (1,75)T^{-0,40} (cm/min)$$

$$Tiempo\ básico = 10 (1 - n)$$

$$Tiempo\ básico = 10 (1 - 0,60)$$

$$Tiempo\ básico = 10 (0,40)$$

$$Tiempo\ básico = 4\ horas * 60 = 240\ min$$

$$Velocid. Infilt. Básica = 1,75 T^{-0,40}$$

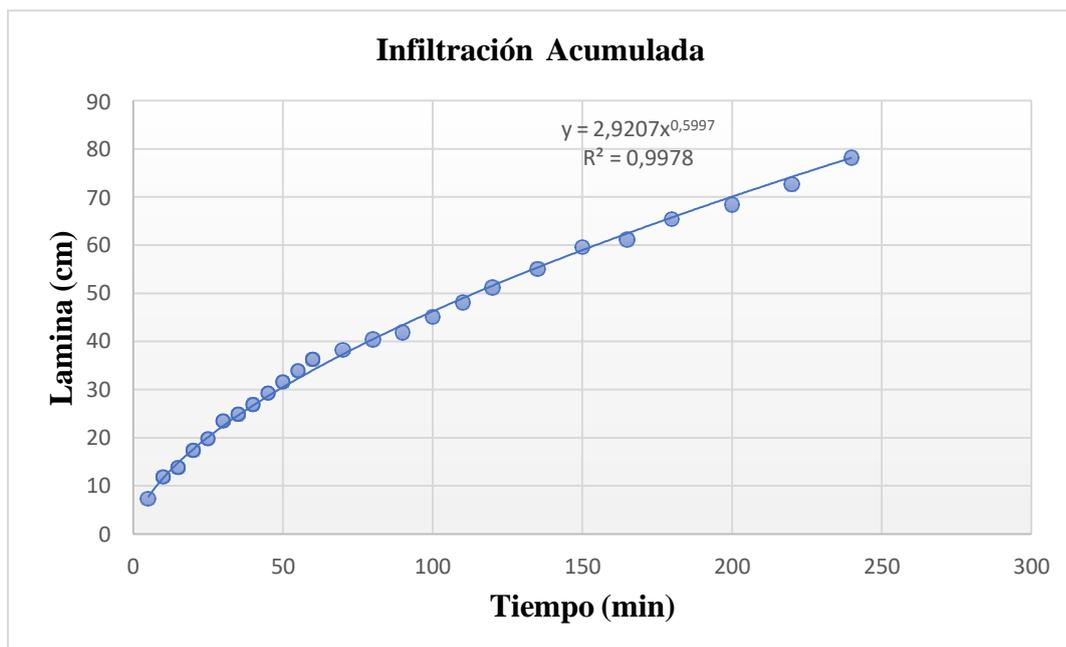
$$Velocid. Infilt. Básica = 1,75 (240)^{-0,40}$$

$$Velocid. Infilt. Básica = 0,20\ cm/min * 60$$

$$Velocid. Infilt. Básica = 11,712\ cm/h$$

$$Velocid. Infilt. Básica = 117,12\ mm/h$$

Velocidad de infiltración: **Moderadamente rápida**



**Anexo 16. Determinación de textura.**



**Anexo 17. Cálculo de textura.**

N° muestras	1° Lectura	T °	2° Lectura	T °
M1	17	22	9	22
M2	16	22	7	22
M3	17	22	9	22

**Muestra 1**

$$A_o = 100 - (1^\circ \text{lectura} \times 2)$$

$$A_o = 100 - (17,72 \times 2)$$

$$A_o = 65,00$$

$$A_c = 2^\circ \text{lectura} \times 2$$

$$A_c = 9,72 \times 2$$

$$A_c = 19,00$$

$$L_o = 100 - (A_o + A_c)$$

$$L_o = 100 - (65 + 19)$$

$$L_o = 16,00$$

**Franco arenoso**

**Muestra 2**

$$A_o = 100 - (1^\circ \text{lectura} \times 2)$$

$$A_o = 100 - (16,72 \times 2)$$

$$A_o = 67,00$$

$$A_c = 2^\circ \text{lectura} \times 2$$

$$A_c = 7,72 \times 2$$

$$A_c = 15,00$$

$$L_o = 100 - (A_o + A_c)$$

$$L_o = 100 - (67 + 15)$$

$$L_o = 18,00$$

**Franco arenoso**

**Muestra 3**

$$A_o = 100 - (1^\circ \text{lectura} \times 2)$$

$$A_o = 100 - (17,72 \times 2)$$

$$A_o = 65,00$$

$$A_c = 2^\circ \text{lectura} \times 2$$

$$A_c = 9,72 \times 2$$

$$A_c = 19,00$$

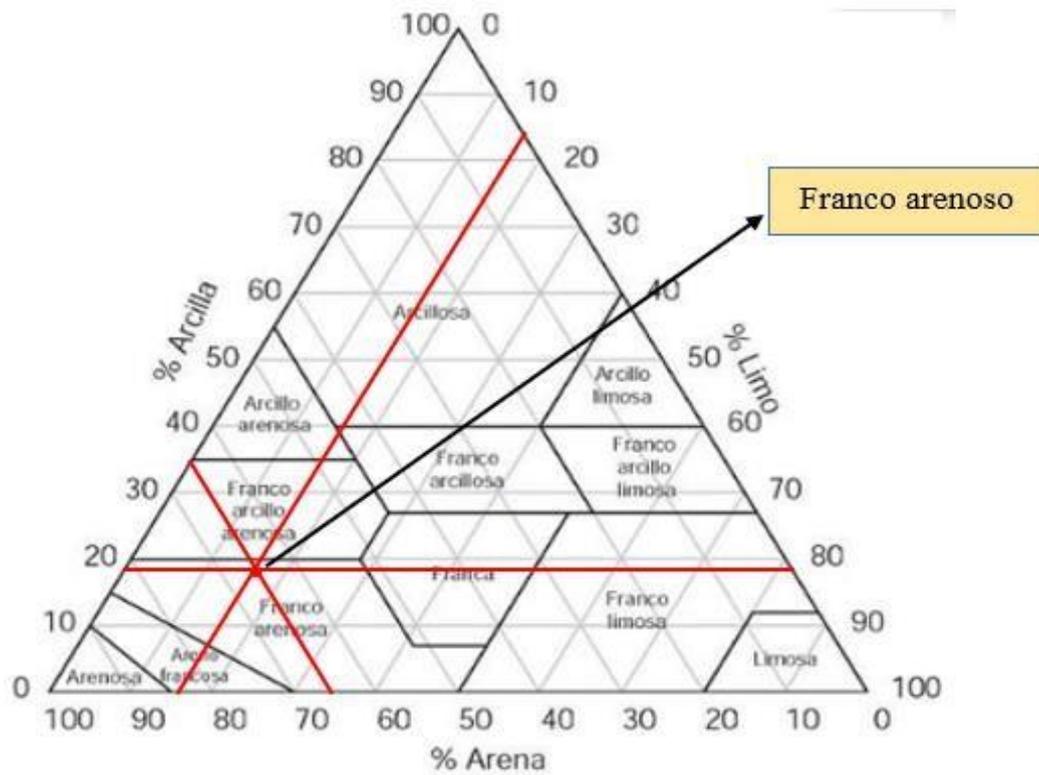
$$L_o = 100 - (A_o + A_c)$$

$$L_o = 100 - (65 + 19)$$

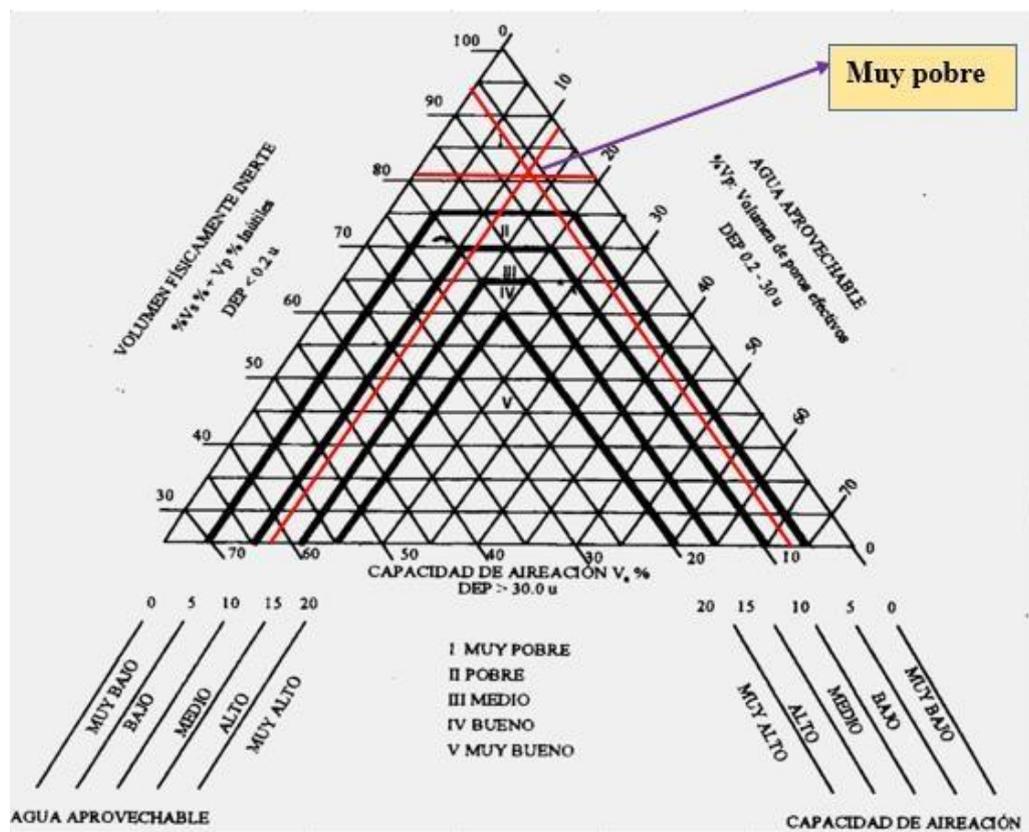
$$L_o = 16,00$$

**Franco arenoso**

Anexo 18. Determinación de la textura en el triángulo textural.



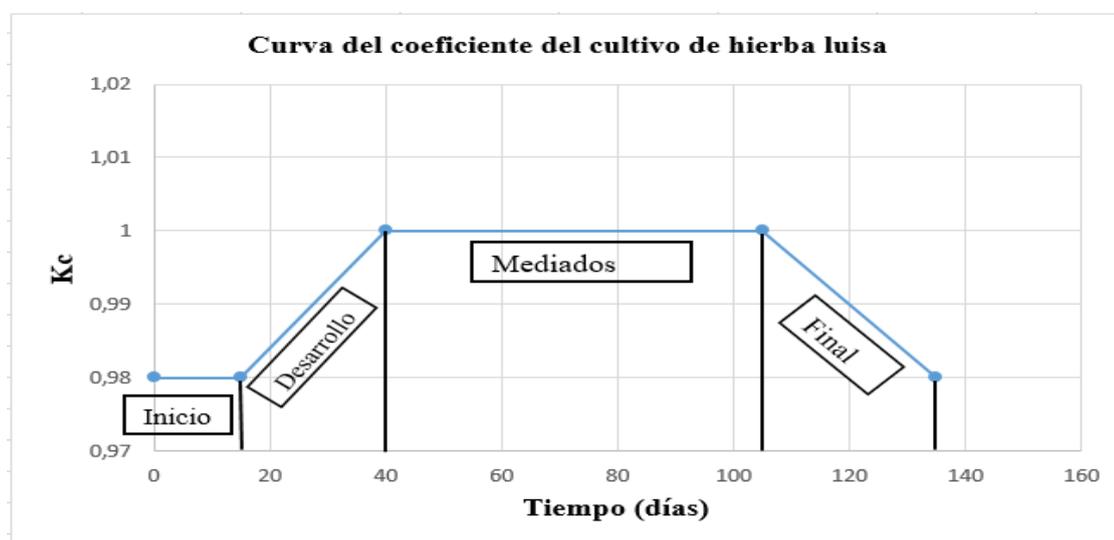
Anexo 19. Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



**Anexo 20.** *Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman- Monteith.*

Mes	Temperatura	Temperatura	Humedad	Viento	Insolación	Radiación	ET <sub>o</sub>
	Mínima	Máxima	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
	°C	°C					
<b>Enero</b>	7,2	28,2	82	2,2	5,0	17,1	3,82
<b>Febrero</b>	6,9	27,5	83	2,2	4,5	16,7	3,68
<b>Marzo</b>	6,7	28,1	83	2,1	4,2	16,1	3,63
<b>Abril</b>	6,9	27,8	83	2,3	5,2	16,8	3,69
<b>Mayo</b>	6,9	27,5	83	2,4	6,1	17,0	3,60
<b>Junio</b>	7,2	27,0	84	2,1	7,3	17,8	3,49
<b>Julio</b>	7,3	27,6	83	2,7	6,9	17,6	3,70
<b>Agosto</b>	7,1	27,9	84	2,8	7,0	18,9	3,97
<b>Septiembre</b>	7,3	27,0	78	2,0	6,8	19,7	4,03
<b>Octubre</b>	7,1	28,1	82	2,5	5,8	18,6	4,05
<b>Noviembre</b>	6,9	28,4	82	2,5	6,3	19,1	4,16
<b>Diciembre</b>	7,2	28,5	82	2,6	5,5	17,7	4,00
<b>Promedio</b>	7,1	27,8	82	2,3	5,9	17,8	3,82

**Anexo 21.** *Curva del K<sub>c</sub> del cultivo de hierba luisa.*



## Anexo 22. Características de los aspersores utilizados en el rediseño.



### Impact Sprinklers 1/2" (13mm) Full or Part Circle

#### 2045-PJ

1/2" (13mm) Full or Part Circle, Plastic Impact Sprinkler

- Durable Delrin™ plastic, body arm, bearing sleeve, nipple and break up pin
- Stainless steel springs and fulcrum pin
- Chemically resistant washers

#### Features

- Plastic Quick Fit Nozzles
- Low Angle (10°) Nozzles available
- Integral straightening vane for greater distance
- Full or Part Circle operation

#### Benefits

- Superior chemical and grit resistance
- Smooth rotation at lower pressures
- Design flexibility
- Built to last
- Two-year Customer Satisfaction Policy

#### Specifications

- Bearing: 1/2" (13mm) Male NPT, Plastic
- Trajectory Angle: Standard 23°  
Low Angle 10° available.
- Operating Range: 25-60 psi (1.7-4.1 bar)
- Flow Rate: 1.5-8.4 gpm (0.34-1.91 m³/h)
- Radius: 22-45 ft. (6.7-13.7 meters)
- Nozzle: QuickFit Nozzle Port

#### P27 - 1/2" M SECTORIAL

Aspersor de plástico sobre follaje

#### Aplicaciones

Para uso residencial y pequeñas áreas públicas, a instalarse también en piquete o trineo

#### Características

- Aspersor de plástico
- Martillo antimanchas
- El deflector de paleta y el difusor permiten controlar el alcance y la distribución
- Roscado 1/2" macho
- Trayectoria: 25°
- Perno y muelle de acero inox, eficaz protección anti arena
- Inyectores de plástico de bayoneta de varios colores según el diámetro
- Espaciamiento entre los aspersores: hasta 14 metros
- Filtrado recomendado: 75 mesh=200 micras.

#### Tabla de prestaciones

Inyector color - ø mm ref.	P (bar)	Q (m³/h)	D (m)
naranja 2,8 IDP27B0MP2800	2,0	0,45	22,0
	3,0	0,55	23,0
	4,0	0,63	24,0
rojo 3,0 IDP27B0MP3000	1,0	0,38	19,0
	2,0	0,51	23,0
	3,0	0,63	24,0
verde 3,2 IDP27B0MP3200	1,0	0,41	20,0
	2,0	0,57	23,0
	3,0	0,70	24,0
azul 3,5 IDP27B0MP3500	1,0	0,49	20,0
	2,0	0,66	23,0
	3,0	0,81	24,0
negro 4,0 IDP27B0MP4000	1,0	0,60	21,0
	2,0	0,85	24,0
	3,0	1,03	26,0

Datos registrados en condiciones de laboratorio  
Adapte la instalación según las necesidades del cultivo

psi @ Nozzle	Straight Bore Nozzle (SBN-1) Performance*									
	NOZZLE SIZE (Stream Height: 6 ft.)									
	3/32" Red		7/64" Black		1/8" Blue		5/32" Yellow		3/16" Beige	
25	-	-	32	2,70	35	2,80	38	4,20	39	5,50
35	37	2,00	37	2,70	38	3,30	41	4,80	42	6,30
45	38	2,30	39	3,00	40	3,70	42	5,40	44	7,10
55	38	2,50	41	3,30	41	4,10	43	6,00	45	7,90
60	38	2,60	41	3,50	42	4,20	44	6,40	45	8,40

\*Shipped Assembled with a 1/8" (08) Straight Bore Nozzle.

psi @ Nozzle	Low Angle Nozzle (LAN-1)					
	NOZZLE SIZE (Stream Height: 3 ft.)					
	7/64" Black			5/32" Yellow		
25	22	1,5	25	3,4		
35	23	1,9	29	4,0		
45	25	2,1	31	4,0		
55	25	2,3	32	5,0		
60	25	2,4	32	5,4		

bar @ Nozzle	Straight Bore Nozzle (SBN-1) Performance*											
	NOZZLE SIZE (Stream Height: 1.8m)											
	2.38 mm (3/32") Red		2.78 mm (7/64") Black		3.18 mm (1/8") Blue		3.97 mm (5/32") Yellow		4.76 mm (3/16") Beige			
1.7	-	-	-	9.8	0.14	0.5	10.7	0.18	0.64	11.6	0.26	0.95
2.0	-	-	-	10.4	0.15	0.55	11.0	0.19	0.68	11.9	0.28	1.01
2.5	11.3	0.13	0.46	11.4	0.17	0.62	11.7	0.21	0.76	12.5	0.31	1.11
3.0	11.5	0.14	0.51	11.8	0.19	0.67	12.1	0.23	0.83	12.8	0.34	1.21
3.5	11.6	0.15	0.55	12.2	0.20	0.72	12.4	0.25	0.89	13.0	0.36	1.30
4.0	11.6	0.16	0.58	12.5	0.22	0.78	12.7	0.26	0.94	13.3	0.39	1.42
4.1	11.6	0.16	0.59	12.5	0.22	0.79	12.8	0.26	0.95	13.4	0.40	1.45

bar @ Nozzle	Low Angle Nozzle (LAN-1-10) METRIC					
	NOZZLE SIZE (Stream Height: 0.9m)					
	2.78 mm (7/64") Black			3.97 mm (5/32") Yellow		
1.7	6.7	0.09	0.34	706	0.21	0.77
2.0	6.8	0.10	0.38	8.1	0.23	0.83
2.5	7.1	0.12	0.44	8.9	0.26	0.92
3.0	7.5	0.13	0.47	9.4	0.28	1.01
3.5	7.6	0.14	0.50	9.6	0.30	1.09
4.0	7.6	0.15	0.54	9.8	0.33	1.19
4.1	7.6	0.15	0.54	9.8	0.34	1.23



**Anexo 23. Cálculos de los parámetros de riego del diseño agronómico.**

**1. Lámina de agua aprovechable (LAA)**

$$LAA = \frac{(CC-PMP)}{100} \times \frac{Da}{DW} \times Pr$$
$$LAA = \frac{(16\% - 8\%)}{100} \times \frac{1,51 \text{ g/cm}^3}{\frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3}} \times 300 \text{ mm}$$

$$LAA = 36,24 \text{ mm}$$

**2. Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)**

$$LARA = LAA \times UR$$

$$LARA = 36,24 \text{ mm} \times 0,50$$

$$LARA = 18,12 \text{ mm}$$

**3. Frecuencia de riego (Fr)**

$$Fr = \frac{LARA}{ETc \text{ máx}}$$

$$Fr = \frac{18,12 \text{ mm}}{4,08 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 4,44 \text{ días} \approx 4 \text{ días}$$

**4. Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARA ajust)**

$$LARA_{ajust} = ETc \text{ máx} \times Fr_j$$

$$LARA_{ajust} = 4,08 \text{ mm/día} \times 4$$

$$LARA_{ajust} = 16,32 \text{ mm}$$

**5. Lámina de riego (Lr)**

$$Lr = \frac{LARA_{ajust}}{Ea}$$

$$Lr = \frac{16,32 \text{ mm}}{0,75 \text{ mm}}$$

$$Lr = 21,76 \text{ mm}$$

**6. Intensidad de precipitación del aspersion (Ip)**

Intensidad de precipitación del aspersion Rain bird 2045

$$I_p = \frac{q_a}{S_a \times S_I}$$

$$I_p = \frac{1008 \text{ l/h}}{12 \times 12}$$

$$I_p = 7,00 \text{ mm/h}$$

### 7. Tiempo de riego

$$T_r = \frac{L_r}{I_p}$$

$$T_r = \frac{21,76 \text{ mm}}{7,00 \text{ mm/h}}$$

$$T_r = 3,00 \text{ h}$$

### 8. Número de aspersores por lateral (NAL)

$$NAL = \frac{LPL}{S_a}$$

$$NAL = \frac{31,85}{12}$$

$$NAL = 2,654 \approx 3 \text{ aspersores}$$

### 9. Caudal del lateral (Q<sub>L</sub>)

$$Q_L = q_a \times NAL$$

$$Q_L = (0,28 \text{ l/s} \times 1 + 0,14 \text{ l/s} \times 2)$$

$$Q_L = 0,56 \text{ l/s}$$

### 10. Número de laterales en el área (NL)

$$NL = \frac{LPS}{SL}$$

$$NL = \frac{181,04 \text{ m}}{12 \text{ m}}$$

$$NL = 15,00 \text{ laterales}$$

### 11. Caudal de la tubería secundaria (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s = 0,56 \text{ l/s} \times 15 \text{ laterales}$$

$$Q_s = 8,40 \text{ l/s}$$

### Anexo 24. Cálculos del diseño hidráulico.

#### ➤ Datos para el sector de riego 1

<b>Tubería principal</b>	
Material	PVC
Longitud	78,65 m
Coefficiente de rugosidad	150
Presión de tubería	0,63 Mpa
<b>Tubería secundaria</b>	
Material	PVC
Longitud	122,70 m
Coefficiente de rugosidad	150
Presión de tubería	0,63 Mpa
<b>Tubería lateral</b>	
Material	PE
Longitud	25,00 m
Presión del aspersor Rain bird	20 mca
Presión del aspersor sectorial P27	10 mca
Altura del elevador	2 m
Número de aspersores	3
Caudal del aspersor Rain bird	0,28 l/s
Caudal aspersor sectorial P27	0,14 l/s
Coefficiente de rugosidad	140
Presión de la tubería	0,40 Mpa

Cálculo de las pérdidas por el método de Hazen – Williams para el sector de riego 1

<b>Tubería</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b><math>\alpha</math> Externo (mm)</b>	<b><math>\alpha</math> Interno (mm)</b>	<b>Presión de trabajo (Mpa)</b>
<b>Principal</b>	2,94	78,65	63	59,80	0,63
<b>Secundaria</b>	2,94	122,70	50	47,40	0,63
<b>Lateral 1</b>	0,56	25,00	32	28,00	0,40

### ➤ Velocidades en las tuberías

Velocidad en la tubería principal

$$V = (Q / (\pi \times \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (2,94 / 1000) / ((3,1416 \times ((59,80 / 1000)^2)) / 4)$$

$$V = 1,05$$

Velocidad en la tubería secundaria

$$V = (Q / (\pi \times \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (2,94 / 1000) / ((3,1416 \times ((47,40 / 1000)^2)) / 4)$$

$$V = 1,67$$

Velocidad en la tubería lateral 1

$$V = (Q / (\pi \times \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (0,56 / 1000) / ((3,1416 \times ((28,00 / 1000)^2)) / 4)$$

$$V = 0,91$$

➤ **Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías**

Gradiente hidráulico en la tubería principal

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{2,94^{1,852}}{150} \times 59,80^{-4,87}$$

$$J = 0,0185 \text{ mm}$$

Gradiente hidráulico en la tubería secundaria

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{2,94^{1,852}}{150} \times 47,40^{-4,87}$$

$$J = 0,057 \text{ mm}$$

Gradiente hidráulico en la tubería lateral 1

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{0,56^{1,852}}{140} \times 28,00^{-4,87}$$

$$J = 0,039 \text{ mm}$$

➤ **Pérdidas de carga por fricción en la tubería principal, secundaria y lateral**

Pérdidas de carga por fricción en la tubería principal

$$hf = J \times L$$

$$hf = 0,0185 \text{ mm} \times 78,65 \text{ m}$$

$$\mathbf{hf = 1,46 \text{ m}}$$

Pérdidas de carga por fricción en la tubería secundaria

$$hf = j \times L \times F$$

$$hf = 0,057 \text{ mm} \times 122,70 \text{ m} \times 0,38$$

$$\mathbf{hf = 2,65 \text{ m}}$$

Pérdidas de carga por fricción en la tubería lateral

$$hf = J \times L \times F$$

$$hf = 0,039 \text{ mm} \times 25,00 \text{ m} \times 0,44$$

$$\mathbf{hf = 0,43 \text{ m}}$$

➤ **Presión al origen del lateral**

$$\frac{P_o}{Y} = \frac{P_a}{Y} + \frac{3}{4} hf - \frac{H_g}{2} + H_a$$

$$\frac{P_o}{Y} = 20 + \frac{3}{4} \times (0,43) - \frac{0,918}{2} + 2$$

$$\frac{P_o}{Y} = \mathbf{21,86 \text{ m}}$$

➤ **Presión al final del lateral**

$$\frac{P_n}{Y} = \frac{P_a}{Y} - \frac{1}{4} hf + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_n}{Y} = 20 \text{ mca} - \frac{1}{4} \times (0,43) + \frac{0,918}{2}$$

$$\frac{P_n}{Y} = \mathbf{20,35 \text{ m}}$$

➤ **Diferencia de presiones**

$$\Delta P = \frac{P_o}{Y} - \frac{P_n}{Y}$$

$$\Delta P = 21,86 \text{ m} - 20,35 \text{ m}$$

$$\mathbf{\Delta P = 1,51 \text{ m}}$$

➤ **Condición de diseño**

$$\Delta P \leq 0,2 \text{ PN asp}$$

$$1,51 \leq 0,2 \times 20$$

$$1,51 \leq 4 \text{ ACEPTADO}$$

➤ **Datos para el sector de riego 2**

<b>Tubería secundaria</b>	
Material	PVC
Longitud	58,34 m
Coefficiente de rugosidad	150
Presión de tubería	0,63 Mpa
<b>Tubería lateral</b>	
Material	PE
Longitud	31,85 m
Presión del aspersor Rain bird 2045 PJ	20 mca
Aspersor sectorial P27	10 mca
Altura del elevador	2 m
Número de aspersores	3
Caudal aspersor rain bird 2045 PJ	0,28 l/s
Caudal aspersor sectorial P27	0,14 l/s
Coefficiente de rugosidad	140
Presión de la tubería	0,40 Mpa

Cálculo de las pérdidas por el método de Hazen – Williams para el sector de riego 2

<b>Tubería</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b><math>\alpha</math> Externo (mm)</b>	<b><math>\alpha</math> Interno (mm)</b>	<b>Presión de trabajo (Mpa)</b>
<b>Secundaria</b>	2,80	58,34	50	47,40	0,63
<b>Lateral 1</b>	0,56	31,85	32	28,00	0,40

➤ **Velocidades en las tuberías**

Velocidad en la tubería secundaria

$$V = (Q / (\pi \times \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (2,80 / 1000) / ((3,1416 \times ((47,40 / 1000)^2)) / 4)$$

$$\mathbf{V = 1,59}$$

Velocidad en la tubería lateral

$$V = (Q / (\pi \times \alpha \text{ interno})^2 / 4)$$

$$V = (0,56 / 1000) / ((3,1416 \times ((28,00 / 1000)^2)) / 4)$$

$$\mathbf{V = 0,91}$$

### ➤ Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías

Gradiente hidráulico en la tubería secundaria

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{2,80^{1,852}}{150} \times 47,40^{-4,87}$$

$$\mathbf{J = 0,052 \text{ mm}}$$

Gradiente hidráulico en la tubería lateral 1

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{Q^{1,852}}{C} \times D^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} \times \frac{0,56^{1,852}}{140} \times 28,00^{-4,87}$$

$$\mathbf{J = 0,039 \text{ mm}}$$

### ➤ Pérdidas de carga por fricción en la tubería secundaria y lateral

Pérdidas de carga por fricción en la tubería secundaria

$$hf = J \times L \times F$$

$$hf = 0,052 \text{ mm} \times 58,34 \text{ m} \times 0,40$$

$$\mathbf{hf = 1,22 \text{ m}}$$

Pérdidas de carga por fricción en la tubería lateral

$$hf = J \times L \times F$$

$$hf = 0,039 \times 31,85 \times 0,44$$

$$hf = 0,55$$

➤ **Presión al origen del lateral**

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4} hf - \frac{H_g}{2} + H_a$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 20 + \frac{3}{4} \times (0,55) - \frac{1,194}{2} + 2$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 21,82 \text{ m}$$

➤ **Presión al final del lateral**

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4} hf + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 20 \text{ mca} - \frac{1}{4} \times (0,55) + \frac{1,194}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 20,46 \text{ m}$$

➤ **Diferencia de presiones**

$$\Delta P = \frac{P_o}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma}$$

$$\Delta P = 21,82 \text{ m} - 20,46 \text{ m}$$

$$\Delta P = 1,36 \text{ m}$$

➤ **Condición de diseño**

$$\Delta P \leq 0,2 \text{ PN aspersor}$$

$$1,36 \leq 0,2 \times 20$$

$$1,36 \leq 4 \text{ ACEPTADO}$$

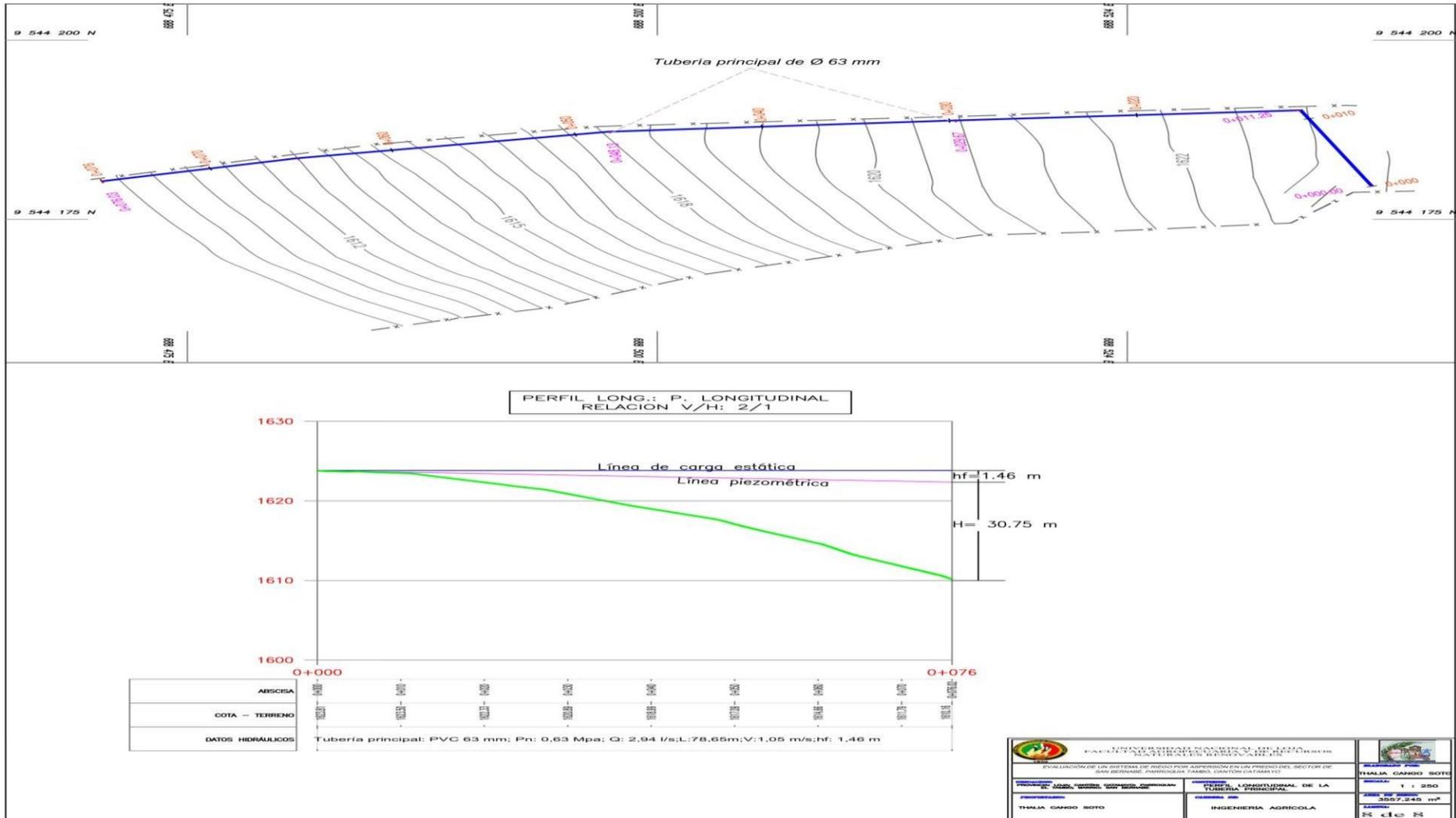
➤ **Carga dinámica total**

CDT: hf por fricción + hf filtrado + hf accesorios + presión de operación del emisor

$$CDT: 6,31 + 5 + 3 + 20$$

$$CDT: 34,31 \text{ mca}$$

Anexo 25. Perfil longitudinal de la tubería principal.



## Anexo 26. Certificado de traducción.

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

[andrea.s.carrion@unl.edu.ec](mailto:andrea.s.carrion@unl.edu.ec)

Loja-Ecuador

Loja, 3 de diciembre del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR** (registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

### CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Thalia Paulina Cango Soto** con cédula de ciudadanía **No. 1105559213**, cuyo tema de investigación se titula: **“Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del Sector de San Bernabé, parroquia Tambo, cantón Catamayo.”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA STHEFANIA  
CARRION  
FERNANDEZ

Firmado digitalmente  
por ANDREA STHEFANIA  
CARRION FERNANDEZ  
Fecha: 2024.12.03  
00:03:36 -06'00'

**Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.**

**English Professor**