



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Carrera de Ingeniería Agrícola

**Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola.

#### AUTOR:

Jandry Fernando Moreno Cruz

#### DIRECTOR:

Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 24 de marzo de 2023

Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de autoría del egresado Jandry Fernando Moreno Cruz, con cédula de identidad Nro. 1106001207, 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 la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado. Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Jandry Fernando Moreno Cruz**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

**Cédula de identidad:** 1106001207

**Fecha:** 05 de julio de 2023

**Correo electrónico:** jandry.moreno@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0997295283

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Jandry Fernando Moreno Cruz** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniero 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 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 Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes julio de dos mil veinte y tres.

**Firma:**

**Autor:** Jandry Fernando Moreno Cruz

**Cédula de identidad:** 1106001207

**Dirección:** El Valle, Loja–Ecuador.

**Correo electrónico:** jandry.moreno@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0997295283

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A TI, mi amigo de toda mi vida. A la mujer que me dio la vida, a pesar de haberla perdido a muy temprana edad, siempre ha estado ahí para cuidarme y guiarme. A mi padre, hermanos y toda mi familia en general, por acompañarme y brindarme un apoyo incondicional en este desafío.

*Jandry Fernando Moreno Cruz*

## **Agradecimiento**

A ti, Dios, por bendecirme para llegar a estas instancias y cumplir con este sueño anhelado.

A la Universidad Nacional de Loja y a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables, así como a todo el cuerpo docente de la Carrera de Ingeniería Agrícola, quienes con sus conocimientos e inteligencia me impartieron lo necesario para enfrentar la vida profesional.

A mi director de Trabajo de Titulación, el Ing. Romel Ramón Hurtado, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y motivación logro en mi culminar con éxito el presente trabajo.

Un trabajo de investigación siempre es el resultado de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso, mi más sincero agradecimiento a los ingenieros Pedro Guaya, Jorge Jaramillo y Jimmy Cordero por sus valiosas contribuciones oportunas.

Agradezco a mis familiares, amigos por el apoyo moral y humano, que fue fundamental en los momentos difíciles de este trabajo y de mi carrera profesional.

Y, por su puesto, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Isabel y Aitana, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar.

A todos, muchas gracias.

*Jandry Fernando Moreno Cruz*

## 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.....	<b>x</b>
Índice de figuras .....	<b>xi</b>
Índice de anexos .....	<b>xii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. El suelo.....	6
4.1.1. Perfil del suelo.....	6
4.2. Propiedades físicas de los suelos.....	6
4.2.1. Textura .....	6
4.2.2. Densidad Aparente .....	7
4.2.3. Porosidad o volumen total del suelo .....	7
4.2.4. Profundidad efectiva .....	8
4.3. Contenido de agua en el suelo.....	8
4.4. Energía del agua en el suelo.....	8
4.5. Curva característica de humedad del suelo .....	8
4.5.1. Niveles de humedad del suelo.....	9
4.5.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	10
4.6. Infiltración del agua en el suelo .....	11
4.7. Riego .....	12
4.8. Riego por goteo .....	12
4.8.1. Ventajas y limitaciones del riego por goteo .....	12
4.9. Calidad de agua para el riego .....	13
4.9.1. Conductividad eléctrica.....	13
4.9.2. Sólidos disueltos totales .....	13
4.9.3. pH.....	13
4.9.4. Relación de adsorción de sodio (RAS) .....	14
4.9.5. El Carbonato de Sodio Residual .....	14
4.10. Diseño agronómico .....	14
4.10.1. Necesidades hídricas de los cultivos.....	14
4.10.2. Parámetros de riego.....	15
4.11. Diseño hidráulico .....	16

4.11.1. Perdidas de carga en tuberías .....	17
4.11.2. Velocidades de agua en las tuberías.....	17
4.11.3. Diseño de las tuberías .....	17
4.12. Cultivo de Café .....	18
<b>5. Metodología .....</b>	<b>19</b>
5.1. Ubicación del área de estudio .....	19
5.1.1. Ubicación Política.....	19
5.1.2. Ubicación Geográfica.....	19
5.1.3. Descripción de la zona de estudio.....	20
5.2. Materiales y equipos .....	20
5.2.1. Materiales.....	20
5.2.2. Equipos.....	20
5.2.3. Recursos tecnológicos.....	20
5.3. Metodología del estudio.....	20
5.3.1. Diseño de la investigación .....	20
5.3.2. Enfoque de la investigación .....	21
5.3.3. Tamaño de la población .....	21
5.3.4. Muestra y muestreo .....	21
5.3.5. Técnica de recolección de datos.....	21
5.3.6. Técnica de procesamiento de datos.....	22
5.4. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita .....	22
5.4.1. Reconocimiento de la fuente de agua y área del sitio de estudio.....	22
5.4.1. Medición del caudal y presión disponible para el riego .....	22
5.4.2. Calidad del agua para riego.....	23
5.4.3. Levantamiento topográfico .....	23
5.4.4. Caracterización Edafológica .....	23
5.4.4.1. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	24
5.5. Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> ) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita.....	26
5.5.1. Diseño agronómico .....	26
5.5.1.1. Necesidades hídricas de los cultivos.....	26
5.5.1.2. Parámetros de riego.....	31
5.5.2. Diseño hidráulico .....	33
5.5.2.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego. ....	34
5.5.2.2. Diseño de la tubería principal .....	36
5.5.2.3. Carga dinámica total .....	37
<b>6. Resultados .....</b>	<b>38</b>
6.1. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita .....	38
6.1.1. Descripción de la fuente abastecedora de agua y área del sitio de estudio. ....	38
6.1.2. Caudal y presión disponible para el riego .....	38
6.1.3. Calidad del agua para el riego.....	38

6.1.4.	Superficie a regar .....	39
6.1.5.	Descripción del perfil del suelo.....	41
6.1.6.	Constantes hidrofísicas y físicas del suelo .....	44
6.1.7.	Curva de retención de humedad del suelo.....	45
6.1.8.	Evaluación de las condiciones físicas del suelo .....	46
6.1.9.	Velocidad de infiltración del agua en el suelo .....	47
6.2.	Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café ( <i>Coffea arábica</i> ) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita.....	49
6.2.1.	Diseño agronómico. ....	49
6.2.1.1.	Parámetros de riego.....	52
6.2.2.	Diseño Hidráulico .....	53
6.2.2.1.	Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego .....	53
6.2.2.1.	Diseño de la tubería principal .....	55
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>58</b>
7.1.	Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita. ....	58
7.1.1.	Calidad de agua para el riego .....	58
7.1.2.	Descripción de perfiles de suelo .....	58
7.1.3.	Constantes hidrofísicas y físicas del suelo. ....	59
7.1.4.	Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	60
7.1.5.	Velocidad de infiltración del agua en el suelo. ....	61
7.2.	Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> ) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita.....	62
7.2.1.	Diseño agronómico .....	62
7.2.2.	Necesidades hídricas de los cultivos .....	62
7.2.3.	Necesidades de agua del cultivo .....	63
7.2.4.	Parámetros de riego.....	63
7.2.5.	Diseño hidráulico .....	64
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>67</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>68</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>79</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Densidad aparente según la textura.....	7
<b>Tabla 2.</b> Profundidades efectivas del suelo.....	8
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de la velocidad de infiltración básica.....	11
<b>Tabla 4.</b> Taxonomía del cultivo de café.....	18
<b>Tabla 5.</b> Valores de caudal.....	38
<b>Tabla 6.</b> Propiedades químicas y físicas del agua de la quebrada del Desmonte .....	39
<b>Tabla 7.</b> Características generales del sector y el perfil modal de P1 .....	41
<b>Tabla 8.</b> Características físicas y morfológicas del perfil P1 .....	41
<b>Tabla 9.</b> Características generales del sector y perfil modal de P2.....	42
<b>Tabla 10.</b> Características físicas y morfológicas del perfil P2.....	43
<b>Tabla 11.</b> Clasificación técnica del suelo del perfil P1.....	43
<b>Tabla 12.</b> Clasificación técnica del suelo del perfil P2.....	44
<b>Tabla 13.</b> Contantes hidrofísicas y físicas de dos perfiles de suelo .....	44
<b>Tabla 14.</b> Relación de la clase textural y la proporción de fracción del suelo.....	45
<b>Tabla 15.</b> Rangos de la curva característica de humedad del suelo .....	47
<b>Tabla 16.</b> Determinación de la velocidad de infiltración básica .....	47
<b>Tabla 17.</b> Evapotranspiración del cultivo de referencia.....	49
<b>Tabla 18.</b> Evapotranspiración del cultivo de referencia, coeficiente y evapotranspiración del cultivo.....	50
<b>Tabla 19.</b> Precipitación efectiva.....	51
<b>Tabla 20.</b> Evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y requerimientos de riego para el cultivo de café.....	51
<b>Tabla 21.</b> Necesidades brutas y caudal continuo ficticio para el cultivo de café.....	51
<b>Tabla 22.</b> Necesidades de agua para el cultivo de café.....	52
<b>Tabla 23.</b> Características generales del gotero.....	52
<b>Tabla 24.</b> Parámetros de riego para las dos subunidades de riego .....	53
<b>Tabla 25.</b> Diseño de la tubería del lateral y secundaria en la subunidad 1 .....	54
<b>Tabla 26.</b> Diseño de la tubería del lateral y secundaria en la subunidad 2 .....	55
<b>Tabla 27.</b> Diseño de la tubería principal .....	55
<b>Tabla 28.</b> Presupuesto del diseño de riego por goteo para un predio de 5 019,76 m <sup>2</sup> .....	56

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Triángulo textural .....	7
<b>Figura 2.</b> Curvas de retención de agua para los suelos con diferentes texturas .....	9
<b>Figura 3.</b> Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	11
<b>Figura 4.</b> Ubicación del barrio Guarango, cantón Espíndola, provincia Loja .....	19
<b>Figura 5.</b> Coeficiente de advección de acuerdo al área del terreno .....	30
<b>Figura 6.</b> Topografía de la zona de estudio.....	40
<b>Figura 7.</b> Curva de retención de humedad del suelo, subunidad 1 .....	46
<b>Figura 8.</b> Curva de retención de humedad del suelo, subunidad 2 .....	46
<b>Figura 9.</b> Curva de infiltración del agua en el suelo de la subunidad 1 .....	48
<b>Figura 10.</b> Curva de infiltración del agua en el suelo de la subunidad 2 .....	48
<b>Figura 11.</b> Coeficiente del cultivo de café (kc).....	50

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Determinación del caudal y presión.....	79
<b>Anexo 2.</b> Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo .....	79
<b>Anexo 3.</b> Valores de velocidad de infiltración básica (VIB) de agua en el suelo .....	81
<b>Anexo 4.</b> Análisis del laboratorio de suelos Agrocalidad de los primeros horizontes .....	83
<b>Anexo 5.</b> Resultado del análisis del agua .....	87
<b>Anexo 6.</b> Evapotranspiración de referencia, según el método de Hargreaves.....	88
<b>Anexo 7.</b> Datos de las fases fenológicas y Kc para el cultivo de café según FAO (2006)....	89
<b>Anexo 8.</b> Características del gotero seleccionado .....	89
<b>Anexo 9.</b> Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	90
<b>Anexo 10.</b> Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo....	94
<b>Anexo 11.</b> Respaldo fotográfico .....	101
<b>Anexo 12.</b> Plano topográfico de la zona de estudio.....	102
<b>Anexo 13.</b> Plano topográfico y densidad de siembra del cultivo de café .....	103
<b>Anexo 14.</b> Plano del diseño del sistema de riego por goteo .....	104
<b>Anexo 15.</b> Detalles constructivos del sistema de riego por goteo .....	105
<b>Anexo 16.</b> Certificado de traducción de español al idioma inglés .....	106

## **1. Título**

Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja.

## 2. Resumen

Debido a la poca tecnificación de riego en el sector se realizó el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en una superficie de 5 019,76 m<sup>2</sup>, con la finalidad de contribuir al manejo eficiente del recurso suelo y agua, y proponer una solución a escasa tecnificación del riego parcelario. Se realizó la descripción de dos perfiles y posteriormente el análisis del suelo mediante la recolección de muestras para la determinación de CC, PMP, Da y textura, así mismo se realizó el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego, en el predio agrícola del barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja. En el diseño agronómico, se determinaron las necesidades de riego del cultivo de café con un valor de 5,42 mm día<sup>-1</sup>. El área seleccionada se dividió en 2 subunidades de riego 2 600 m<sup>2</sup> y 2 500 m<sup>2</sup>, las cuales demandan un caudal de 2,4 l s<sup>-1</sup>. De los resultados de análisis de las propiedades físicas del suelo se determinó, la lámina de riego de 13,13 mm día<sup>-1</sup> con una frecuencia de riego de 3 días y un tiempo de riego de 98 minutos en la subunidad 1 y lámina de riego de 21,14 mm día<sup>-1</sup>, frecuencia de 4 días y tiempo de riego de 158 minutos en la subunidad 2. En cuanto al diseño hidráulico, en las subunidades de riego se estableció la red principal y secundaria con diámetro nominal de 50 mm de 1,25 MPa y, los laterales de 16 mm de 0,40 MPa con goteros auto compensados de 4 l h<sup>-1</sup>. En el análisis del agua utilizada para el riego, que proviene de la quebrada del Desmonte se obtuvieron los siguientes resultados: salinidad de 0,13 dS m<sup>-1</sup>, pH 7, relación de absorción del sodio (RAS) 1,53 mg l<sup>-1</sup>, carbonato de sodio residual (CSR) <1,25 meq l<sup>-1</sup> y sólidos disueltos totales de 80 mg l<sup>-1</sup>. La instalación de 5 019,76 m<sup>2</sup> de riego por goteo tiene costo de \$ 2 969. El desarrollo de esta investigación permitirá hacer un uso eficiente del recurso suelo y agua para mejorar la productividad del cultivo de café de la zona.

**Palabras claves:** Riego por goteo, diseño agronómico e hidráulico, calidad del agua.

## 2.1. Abstract

Due to the little irrigation technology in the place, the design of a drip irrigation system was carried out for the growing coffee (*Coffea arabica*) in an area of 5,019.76 m<sup>2</sup>, in order to contribute to efficient management. of soil and water resources, and propose a solution to the low technification of plot irrigation. The description of two profiles was carried out and later the analysis of the soil through the collection of samples for the determination of CC, PMP, Da and texture, likewise the agronomic and hydraulic design of the irrigation system was carried out, in the agricultural property of the del barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja. In the agronomic design, the irrigation needs of the coffee grow were determined with a value of 5.42 mm day<sup>-1</sup>. The selected area was divided into 2 irrigation subunits 2 600 m<sup>2</sup> and 2 500 m<sup>2</sup>, which demand a flow of 2.4l s<sup>-1</sup>. From the results of the analysis of the physical properties of the soil, the irrigation sheet of 13.13 mm day<sup>-1</sup> was determined with an irrigation frequency of 3 days and an irrigation time of 98 minutes in subunit 1 and irrigation sheet of 21 ,14 mm day<sup>-1</sup>, frequency of 4 days and irrigation time of 158 minutes in subunit 2. Concerning the hydraulic design, in the irrigation subunits the main and secondary network with a nominal diameter of 50 mm of 1.25 MPa and, the laterals of 16 mm of 0.40 MPa with self-compensated drippers of 4l h<sup>-1</sup>. In the analysis of the water used for irrigation, which comes from the quebrada del Desmonte, the following results were obtained: salinity of 0.13 dS m<sup>-1</sup>, pH 7, sodium absorption ratio (SAR) 1.53 mg l<sup>-1</sup>, carbonate of residual sodium (CSR) <1.25 meq l<sup>-1</sup> and total dissolved solids of 80 mg l<sup>-1</sup>. The installation of 5 019.76 m<sup>-1</sup> of drip irrigation has a cost of \$.2969. The development of this research will allow efficient use of soil and water resources to improve the productivity of coffee growing in the area.

**Keywords:** Drip irrigation, agronomic and hydraulic design, water quality.

### 3. Introducción

Del consumo de agua en el Ecuador; el 82 % se utiliza para la agricultura, el 12,3 % para uso doméstico y el 5,6 % para uso industrial (Zapatta y Gasselin, 2005). De acuerdo al Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua – ESPAC (2019), en el país se riegan aproximadamente 1,06 millones de ha, lo que representa el 29,4 % de la superficie cultivada, y el 24,1 % de la superficie potencialmente regable, mientras que 3,34 millones de ha no cuenta con riego, es decir el 75,9% (INEC, 2020).

Según ESPAC (2019), en el año 2017, la cobertura de riego alcanza el 1 088 228,94 ha, de esta cantidad, 596 240,64 ha (54,79 %) se riega por inundación y gravedad, 305 139,39 ha (28,04 %) por aspersión, 105 449,38 ha (9,69 %) por micro aspersión y 81 290,70 ha (7,47 %) por otros métodos de riego presurizado como el goteo, la nebulización, etc., lo que evidencia mayoritariamente el uso del método por gravedad; es decir, existe una escasa tecnificación para el regadío en el país, provocando elevadas pérdidas de agua en la conducción, irregular distribución del agua en la parcela y en la zona radicular del cultivo.

En el Ecuador el cultivo de café ha destacado en las exportaciones agrícolas, generando fuente de empleo, ingresos y aporte de divisas para la economía ecuatoriana, estas actividades, dan origen al desarrollo de otras actividades económicas, como el comercio y la industria, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG (2012) indica que la producción de café para el año 2011, se concentró en su mayoría en la provincia de Manabí, seguido de la provincia de Loja (Pozo, 2014). En el ámbito de riego, Cisneros Zayas et al., (2015), manifiesta que el riego es un potenciador de los rendimientos en la mayoría de los cultivos, estudios llevados a cabo en diferentes regiones cafetaleras del mundo, se ha obtenido resultados en experimentos con riego, donde demuestra el incremento del rendimiento al compararlo con áreas sin riego.

En la provincia de Loja la superficie regable cubierta por los sistemas de riego públicos no transferidos, transferidos y sistemas de riego comunitarios es de 37 206,03 ha, de esta superficie, 10 836,75 ha pertenecen a sistemas no transferidos, 6 164,28 ha a sistemas transferidos y 20 205 ha a sistemas comunitarios, siendo este último la mayor superficie regable y el sector que más aporta a la seguridad y soberanía alimentaria. El cantón Espíndola cuenta con los sistemas de riego, Aíro–Florida, El Ingenio, Jorupe – Cangochara, Limas Conduriaco y Sanambay Jimbura (PDyOT-Loja, 2019); no obstante, existe una limitada dotación de infraestructura de riego a pesar que la población tiene una vocación eminentemente agropecuaria; además, los escasos canales de regadío que permiten desarrollar una agricultura

bajo riego, tienen un funcionamiento del 50 % de su capacidad. Por lo que el uso de riego por gravedad, presenta un grave problema para el suelo, como la pérdida de la capa fértil o productiva del mismo (PDOT-Espíndola, 2014).

Según INEC (2010), en la parroquia Santa Teresita, el 76,25 % de la población se dedica al campo agrícola y ganadero, en donde la fuente principal de los ingresos es la agricultura; sin embargo, la infraestructura para fomentar la producción agrícola es deficiente, ocasionando de esta manera un gasto irracional del recurso agua y por consiguiente una baja productividad de los cultivos (PDOT-Santa Teresita, 2019).

En el barrio Guarango, uno de los 9 barrios de la parroquia Santa Teresita, existe un sistema de riego comunitario que beneficia a 15 familias; no obstante, por desconocimiento del funcionamiento, escasa asistencia técnica y falta de tecnificación parcelaria, los usuarios realizan una inapropiada aplicación del agua a los cultivos, lo cual genera, una mala eficiencia de riego, pérdidas de agua por escorrentía, erosión del suelo; así mismo, baja productividad y costos de producciones elevados. En las condiciones indicadas implica que, en la localidad las prácticas tradicionales siguen siendo utilizadas.

En estas consideraciones, se propuso el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja, y para efectuar el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Contribuir al manejo eficiente del recurso agua y suelo del barrio Guarango mediante el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*).

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita.
- Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. El suelo**

Angella y Salgado (2016) consideran que el suelo es un depósito de almacenamiento de agua, aire y nutrientes que son tomados por las plantas, su capacidad de almacenamiento y disponibilidad dependen de las cantidades y características de cada suelo, por lo que es importante conocer cómo se encuentran constituidas las fuerzas de retención y el movimiento del agua en el suelo.

#### ***4.1.1. Perfil del suelo***

Es el corte vertical del suelo donde se aprecian las distintas capas horizontales que se desarrollan a varias profundidades (Olivo,1996). Su estudio consiste en la descripción de sus horizontes, el perfil abarca todos los horizontes genéticos, capas orgánicas naturales que se encuentran en la superficie del suelo y el material parental u otras capas que se encuentren bajo el solum que influyan en la génesis y comportamiento del suelo (Iñiguez, 2011).

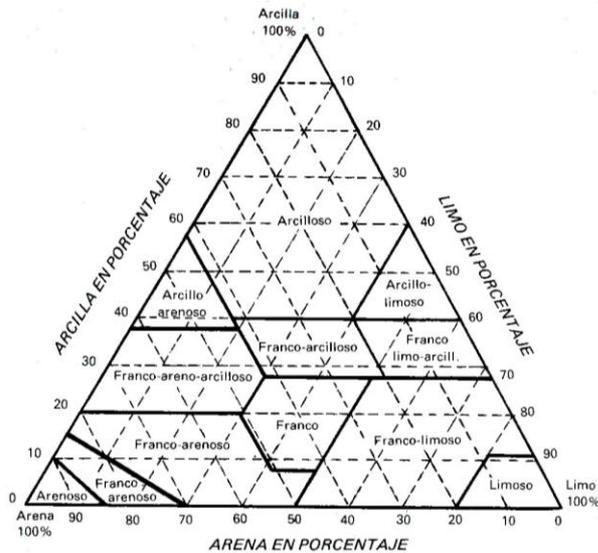
### **4.2. Propiedades físicas de los suelos**

Las propiedades físicas de un suelo determinan la rigidez, la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

Propiedades como la estructura, textura, porosidad total y distribución del tamaño de poros, influyen en la retención y almacenamiento de humedad del suelo. La retención del agua en el suelo está determinada por las características intrínsecas del suelo y las condiciones del drenaje interno (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2011).

#### ***4.2.1. Textura***

Según Rucks et al. (2004), la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que componen el suelo: arena gruesa, media y fina, limo y arcilla. Guillermo (2011), manifiesta que la textura permite estimar ciertos atributos como: la capacidad productiva, retención de agua, portante, y de usos contrastándola con la profundidad y pendiente; comportamiento mecánico; velocidad de infiltración; densidad aparente, entre otros. Las posibles clases de textura del suelo, se examinan mediante laboratorio y para su análisis se utiliza el triángulo textural (Figura 1).



**Figura 1.** Triángulo textural

**Fuente:** (USDA, 2014).

#### 4.2.2. Densidad Aparente

Para Diaz (2018), la densidad aparente ( $D_a$ ) es un indicador de la compactación del suelo. Los valores de  $D_a$  varían en función de las propiedades de los suelos, fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica (Cisneros, 2003). Es posible clasificarla tomando en cuenta ciertos rangos de densidad aparente, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Densidad aparente según la textura

Textura	Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Arenas	1,6 – 1,7
Francos	1,3 – 1,4
Arcillas	1,0 – 1,2
Suelos orgánicos	0,5 – 1,0

**Fuente:** Pritchett 1990 en Domínguez (2005)

#### 4.2.3. Porosidad o volumen total del suelo

Según Hodgson (1985); citado en Guillermo (2011), menciona que la porosidad está determinada por el volumen que ocupan los poros (gases y líquidos) con relación al volumen total ocupado por el suelo.

Fitz Patrick (1987); citado en Domínguez (2005), afirma que la porosidad total en suelos arenosos superficiales varía entre 35 a 50 % y suelos de textura fina entre 40 a 60%. Además, Assan y Gorosito (2018) propone la clasificación de la porosidad para las siguientes

texturas del suelo: arenoso (32 a 42 %), franco arenoso (40 a 47 %), franco (43 a 49 %), franco arcilloso (47 a 51 %), arcillo arenoso (49 a 53 %) y arcilloso (51 a 55 %).

#### 4.2.4. *Profundidad efectiva*

Determina la cantidad de agua que puede retener un suelo. En un suelo profundo la capacidad para retener agua es mayor, dando un mayor espacio para la exploración de las raíces, mismas que dispondrán de adecuados niveles más de humedad, aire, temperatura y nutrientes (Calvache, 2013). En la Tabla 2 se presenta diferentes profundidades de suelo.

Tabla 2. Profundidades efectivas del suelo

<b>Categoría</b>	<b>Rango (%)</b>
Muy Delgado	< 25
Delgado	25 < 50
Ligeramente profundo	50 < 75
Moderadamente profundo	75 < 100
Profundo	100 < 150
Muy profundo	> 150

**Fuente:** Ferreyra (2010) en Pinto et al. (2004)

#### 4.3. **Contenido de agua en el suelo**

De acuerdo con Silva et al. (2015), el suelo es una matriz sólida, no rígida, compuesta de aproximadamente 50 % de partículas minerales y orgánicas y 50 % de espacio poroso ocupado por aire (25 %) y agua (25 %). El contenido de agua del suelo puede expresarse en unidades de masa ( $w$ ), volumen ( $\theta$ ) y unidades lineales ( $h$ ).

#### 4.4. **Energía del agua en el suelo**

El agua en el suelo está en constante movimiento, debido a la presencia de energía cinética o potencial. La energía cinética se la considera despreciable, ya que está relacionada con la velocidad del agua en el suelo y es muy lenta. Siendo la energía potencial la que determina el estado energético y el movimiento del agua en el suelo, caracterizando cuatro componentes: potencial gravitacional, potencial mátrico, potencial osmótico, potencial de presión en suelos saturados (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE), 2016).

#### 4.5. **Curva característica de humedad del suelo**

Bejar et al. (2020) afirman que la curva característica de humedad del suelo es la relación que existe entre el contenido de humedad en el suelo en términos de volumen y el

potencial de retención de agua en el suelo y, Silva et al. (2015), que se obtiene al graficar el contenido de agua del suelo o humedad volumétrica (eje Y) con la tensión o potencial mátrico (eje X), sometiendo el suelo a presiones de 0,33 y 15 bares (Figura 2).

Los factores que determinan la forma de la curva característica de humedad del suelo son: estructura, textura y materia orgánica (Iñiguez, 2011).

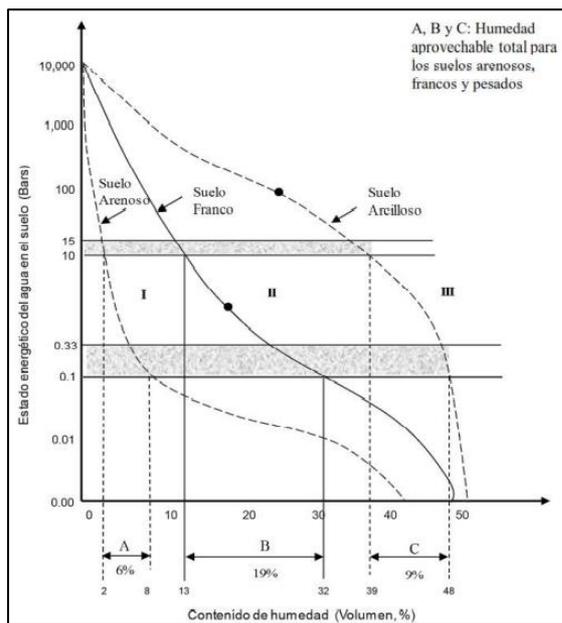


Figura 2. Curvas de retención de agua para los suelos con diferentes texturas

**Fuente:** Vásquez et al. (2017)

#### 4.5.1. Niveles de humedad del suelo

##### Saturación

Se produce cuando todos los poros se llenan de agua, por tal razón los poros no poseen aire y las plantas pueden morir por asfixia. Durante la época lluviosa al no tener control sobre la cantidad de agua que precipita, la saturación se puede evitar mediante canales de drenaje para eliminar el exceso de agua en el suelo (Mendoza, 2013).

##### Capacidad de campo

La capacidad de campo (CC) se define como la cantidad de agua que se retiene en un suelo, después de haber sido mojado abundantemente por riego o lluvia y se ha permitido el drenaje libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración (Silva et al., 2015).

Calderón (2014) indica que un suelo a CC es la condición de humedad más adecuada para el desarrollo de las plantas, debido a que en los espacios que existen entre las partículas

del suelo el agua queda retenida y en esas condiciones es absorbida por las plantas con mayor facilidad.

#### **Punto de marchitez permanente**

El punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de humedad en el suelo al cual la planta se marchita en forma permanente y no regresa a hidratarse por más que se aplique agua al suelo; en este punto, queda aproximadamente un 50% del agua que el suelo tenía a CC (Andriani, 2009).

#### **Agua aprovechable**

El agua aprovechable (AA) o humedad utilizable es el agua retenida por el suelo entre los valores de CC y PMP, es decir, es el agua que se encuentra disponible en el suelo para ser utilizada por la planta (Andriani, 2009).

#### **Capacidad de Aireación**

Según Ayor y Carpio (2015), es la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad al momento que se deja drenar libremente, en un suelo bien drenado, se llega a este valor a los dos días de saturar el mismo.

#### **4.5.2. Evaluación de las condiciones físicas del suelo**

Valarezo et al. (1998) expresan que la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación al crecimiento de las plantas; y, para su clasificación se utiliza el diagrama triangular que se muestra en la Figura 3.

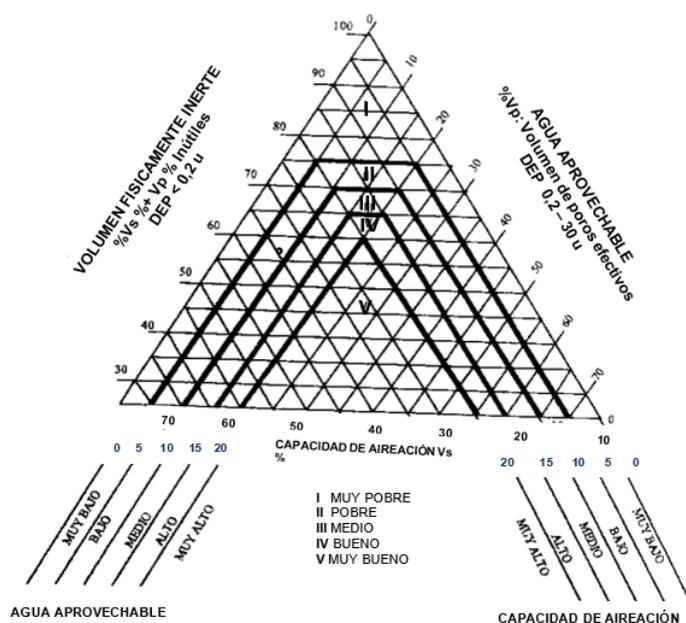


Figura 3. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo  
**Fuente:** ILACO, B.V. (1981); citado en Valarezo et al. (1998).

#### 4.6. Infiltración del agua en el suelo

De acuerdo con riego Gallegos (2016), la infiltración se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo, por su parte, Batres y Barahona (2016) expresan que la velocidad de infiltración es la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, dato que en la mayoría de los métodos de riego, determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar. En la Tabla 3 se presenta la clasificación de la velocidad de infiltración básica de acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA):

Tabla 3. Clasificación de la velocidad de infiltración básica

Clasificación	Rango (mm h <sup>-1</sup> )
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 Zambrano (2016).

Además, Cisneros (2003) presenta la siguiente clasificación de la infiltración: muy lenta (<0,25 cm h<sup>-1</sup>) para suelos con un alto contenido de arcilla, lenta (0,25 a 1,75 cm h<sup>-1</sup>) para suelos con alto contenido de arcilla y bajo en materia orgánica, media (1,75 a 2,50cm h<sup>-1</sup>) para suelos

migajones arenosos o limosos, y rápida ( $>2,5\text{cm h}^{-1}$ ) para suelos arenosos o migajones limosos profundos y buena agregación.

#### **4.7. Riego**

Calvache (2013) señala que el riego es la aplicación oportuna, uniforme y eficiente de agua al suelo, con el fin de reponer el agua utilizada por las plantas y la que se evapora por efecto del clima; un buen riego humedece el suelo hasta la profundidad donde se encuentra la zona radicular de los cultivos y, Saltos (2011), que son portaciones de agua que se hacen a la tierra por distintos métodos para facilitar el desarrollo de los cultivos. Se utiliza en las zonas donde las precipitaciones no suministran suficiente humedad al suelo o donde se desea implementar cultivos de regadío.

#### **4.8. Riego por goteo**

Consiste en aplicar bajos volúmenes de agua en forma continua a los cultivos, a través de una tubería que se encuentra sobre las hileras en donde se ubican los goteros (Sandoval y Vargas, 1989). El riego por goteo garantiza una mínima pérdida del recurso agua por evaporación o filtración, y es válido para cultivos que se producen en zonas secas y zonas húmedas (Saltos, 2011).

##### **4.8.1. Ventajas y limitaciones del riego por goteo**

De acuerdo con Arango (2002), las ventajas de riego por goteo son:

- Se puede aplicar en suelos poco profundos, de cualquier textura y topografía.
- Se adecua bien a lugares con fuertes vientos.
- Bajos requerimientos de presión para su funcionamiento.  
Permite aplicar agroquímicos con eficiencia.
- Los implementos utilizados tienen una vida útil de 10 a 15 años aproximadamente.

Y según Liotta (2015), las limitaciones del riego por goteo son:

- Se requiere mayor inversión.
- Especial cuidado en el filtrado del agua, debido a que los emisores son sensibles a las obstrucciones por materia orgánica, algas y sólidos en suspensión.
- El diseño debe ser adecuado y realizado por personal especializado, para dar funcionamiento al sistema y solucionar posibles problemas.

## **4.9. Calidad de agua para el riego**

Desde un punto de vista agrícola, la calidad del agua se refiere al tipo y la cantidad de sales presentes en ella; su efecto sobre el suelo, y el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Varios autores (Richards, 1954; Ayers y Westcot, 1987; Glover, 1993) señalan que la calidad del agua de riego se determina de varias formas, incluyendo el grado de acidez y alcalinidad (pH), conductividad eléctrica (CE), carbonato de sodio residual (CSR), relación de adsorción de sodio (RAS) (Cortés et al., 2009).

### **4.9.1. Conductividad eléctrica**

Según Moliner y Masaguer (1996), en la calidad de agua para riego la conductividad eléctrica (salinidad) se refieren a la cantidad de sales solubles presentes en el agua.

Existen varios criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas en ella, Ayers y Westcot (1985); citados en Acosta y Salvadori (2017) indican el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales: valores menores a  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  no presentan riesgo, entre  $0,7$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  riesgo moderado y mayores a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  riesgo alto.

### **4.9.2. Sólidos disueltos totales**

De acuerdo con (Swistock, 2021). , los sólidos disueltos totales (SDT) representa la concentración total de sustancias disueltas en el agua.

Según Ayers y Westcot (1985); citados en FAO 47 (2007) afirman que valores de sólidos disueltos totales en el agua inferiores a  $500 \text{ mg l}^{-1}$ , no representa restricción de uso en el riego localizado, entre  $500$  a  $2000 \text{ mg l}^{-1}$ , riesgo moderado, y mayores a estos no se recomienda.

### **4.9.3. pH**

Es un indicador de la acidez o basicidad del agua; sin embargo, raramente es un problema en sí mismo. En un análisis de agua de riego el principal uso del pH es detectar un agua anormal. Un valor anormal nos indica la necesidad de llevar a cabo un análisis completo FAO 47 (2007).

#### **4.9.4. Relación de adsorción de sodio (RAS)**

Redondo (2017), expresa que el RAS determina el riesgo que supone el sodio, esta medida indica la cantidad de sodio en el agua de riego en relación con los cationes calcio y magnesio. Con respecto a la sodificación, la FAO citado en Acosta y Salvadori (2017) propone tres categorías para la evaluación del agua: baja peligrosidad sódica ( $< 3 \text{ meq l}^{-1}$ ), mediana (3 a  $9 \text{ meq l}^{-1}$ ) y alta ( $>9 \text{ meq l}^{-1}$ ).

#### **4.9.5. El Carbonato de Sodio Residual**

La determinación del carbonato sódico residual (CSR) se emplea para predecir la tendencia del calcio y magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas altamente carbonatadas. La peligrosidad sódica no se puede usar como único criterio evaluador del contenido de sodio, también hay que determinar la concentración de otros iones, como el carbonato, bicarbonato, calcio y magnesio FAO 47 (2007).

Richards (1954); citado por Tartabull y Betancourt (2016) manifiesta que los valores deseados de CSR son siempre menores a  $1,5 \text{ meq l}^{-1}$ , siendo valores superiores a estos condicionan o no son recomendables.

### **4.10. Diseño agronómico**

Mullo (2016) citado por Jiménez (2019) afirma que el diseño agronómico es el cálculo de las necesidades de agua que un cultivo requiere durante la época de mayor demanda, considerando el suelo, la calidad del agua y la climatología. Se desarrolla en dos etapas: cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y determinación de los parámetros de riego.

#### **4.10.1. Necesidades hídricas de los cultivos**

Expresan la cantidad de agua requerida para compensar el déficit de humedad del suelo, debido al agua consumida por las plantas durante su periodo vegetativo (Calvache, 2013).

#### **Evapotranspiración (ET)**

Santiago et al. (2012) declaran que la evapotranspiración es la pérdida de agua evaporada a través de la superficie del suelo donde está el cultivo y la transpirada por un cultivo. Tiene lugar durante el día y se la expresa en unidades de lámina por tiempo, es decir milímetros por día, mes o estación (Fuentes, 2003).

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

El concepto de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Los únicos factores que afectan a la ET<sub>o</sub> son los parámetros climáticos y, por ende, puede ser calculada a partir de datos meteorológicos (Agricultura y desarrollo rural en Terefine (AgroCabildo), 2008).

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

Según INTA (2016) el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>) relaciona la ET<sub>o</sub> con el crecimiento y desarrollo del área foliar de un cultivo, por lo tanto, el K<sub>c</sub> depende directamente del cultivo, de su área foliar y de la cobertura que la misma hace sobre el suelo.

### **Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)**

De acuerdo con la FAO 56 (2006) la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) se calcula multiplicando la ET<sub>o</sub> por el K<sub>c</sub>, el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia.

### **Precipitación efectiva**

Se define como el agua que queda disponible para el cultivo tras una lluvia, ya que parte del agua se pierde en percolación profunda, escorrentía superficial y evaporación; es decir, la precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas (FAO, 2000).

### **Necesidades netas de riego**

Según Pizarro (1996) para la determinación de las necesidades netas de un cultivo bajo riego por goteo, se deben realizar correcciones a la evapotranspiración del cultivo máxima en el año, que se citan a continuación: por localización, condiciones locales y percolación y lavado.

#### **4.10.2. Parámetros de riego**

##### **Área mojada por emisor**

Fuentes (2003) manifiesta que el área mojada por el emisor es la proyección horizontal del bulbo húmedo que forma este, depende de la textura, estratificación, caudal de gotero y tiempo de riego, pudiéndose determinar a través de pruebas de campo o fórmulas.

### **Porcentaje de suelo mojado**

Dado que en el riego localizado se moja solamente una fracción del suelo, por efectos de diseño hay que prever un mínimo de superficie mojada, que debería ser suficiente para garantizar que el sistema radical se desarrolle normalmente. El valor del porcentaje de suelo mojado más apropiado está en función del tipo de cultivo, clima y del tipo de suelo (Fernández, 2010).

### **Lamina neta o lámina de agua aprovechable LAA**

Calvache (2002) indica que la lámina neta es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo por un determinado tiempo y en condiciones ideales es utilizada completamente por el cultivo.

### **Lamina bruta o lamina total de riego**

Para el cálculo de la lámina bruta se debe tomar en cuenta que en los distintos métodos de riego existirán pérdidas de agua, desde la derivación y conducción hasta el nivel de la parcela, por ello, la lámina bruta es igual a la relación entre la lámina neta y la eficiencia del tipo de sistema de riego (Valverde, 1998).

### **Frecuencia de riego**

Es la aplicación de agua a un cultivo que permite estimar el número de veces que se riega en un determinado tiempo. Al ser el sistema de riego por goteo de alta frecuencia, en la práctica implica una serie de frecuencias de riego que oscilan desde varios riegos en un mismo día, hasta intervalos de riego de 3 a 4 días (Fernández, 2010).

### **Tiempo de riego**

Se define como el tiempo necesario para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo en un establecido período de tiempo (Calvache, 2013).

## **4.11. Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico tiene como finalidad el dimensionamiento de las diferentes tuberías que componen el sistema, en lo referente a diámetros, longitudes, caudales, presiones y velocidades, Razuri (1988) citado en Liotta et al., (2015) sostiene que en primer lugar, se determina la subunidad de riego, donde se tienen en cuenta la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de tuberías, etc., posteriormente se diseña la unidad de riego, el trazado y diámetros de tuberías primarias y secundarias y el cabezal de riego.

#### **4.11.1. Pérdidas de carga en tuberías**

Las pérdidas de carga corresponden a la pérdida de energía que experimenta el agua en su recorrido en el interior de la tubería, este efecto provoca una disminución de la presión en el interior de las conducciones, produciéndose un diferencial de presión. Está relacionada con el caudal conducido, diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías (Tapia y Osorio, 1999).

Existen dos clases de pérdidas de carga: lineales (se producen en toda la línea de conducción) y locales (se producen por cualquier obstáculo colocado en la tubería).

#### **4.11.2. Velocidades de agua en las tuberías**

De acuerdo con Monge (2018) la velocidad del agua en tuberías principales y secundarias debe estar como máximo de 2,5 a 3 m s<sup>-1</sup> y laterales entre 1,5 y 2 m s<sup>-1</sup> debido a que las pérdidas de carga son mayores en las tuberías con menor diámetro, por su parte, la mínima velocidad recomendable tiene que ser igual o superior a 0,5 m s<sup>-1</sup>. Velocidades superiores a 2,5 m s<sup>-1</sup> ocasionan problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes interiores que afectarían a la durabilidad de la tubería; mientras que, velocidades inferiores a 0,5 m s<sup>-1</sup> podrían ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos en el interior de las conducciones debido a la escasa velocidad de movimiento del agua (Irrigation National Engineering Handbook (INEH), 2013).

#### **4.11.3. Diseño de las tuberías**

##### **Diseño de la tubería lateral**

Su diseño contempla la determinación del diámetro, longitud y pérdidas de carga. Para lo cual se requiere conocer el número de goteros, caudal de la lateral y pérdida de carga máxima permisible. Este último factor se prefija sobre la base de un porcentaje de la presión de operación (10 a 15 %) y a partir de ese valor se calcula la longitud y diámetro necesario (Tapia y Osorio, 1999).

##### **Diseño de la tubería secundaria**

Amhad y Ajas (2013) menciona que la longitud de la tubería secundaria dependerá de las dimensiones del terreno, el caudal máximo (depende del caudal de cada lateral) y del número de laterales que funcionen continuamente. La variación de la presión en la tubería secundaria no debe superar el 15 % de la presión de operación del gotero.

## Diseño de la tubería principal

Según Reinders et al., (2012) en la tubería principal considera no tener pérdidas superiores al 20% de la presión de operación del gotero. Teniendo en cuenta que en esta tubería se anula el coeficiente de Christiansen (CU) debido que no existen salidas múltiples.

### 4.12. Cultivo de Café

Nutman (1993) citado en el Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana (IICA), 2019, afirma que *Coffea arabica* es la especie más cultivada a nivel mundial. Tiene su origen en las tierras altas de Etiopía, a una altitud que oscila entre 1 350 a 2 000 m.s.n.m.

De acuerdo el Consejo Cafetalero Nacional–COFENAC (2013) en Ecuador las especies más cultivadas de café son: arábica (*Coffea arabica* L.) y robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froeh-ner). La superficie cafetalera en producción en 2012, fue 149 411 ha (Duicela et al., 2015). La clasificación taxonómica del café se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Taxonomía del cultivo de café

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Orden</b>	Rubiales
<b>Familia</b>	Rubiaceae
<b>Género</b>	Coffea
<b>Especie</b>	Coffea arabica

**Fuente:** Alvarado (1994) en Escobar (2017)

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación del área de estudio

#### 5.1.1. Ubicación Política

El trabajo de investigación se desarrolló en el barrio Guarango de la parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola. Limita al Norte con la parroquia El Airo, al Sur con la ciudad de Amaluza, al Este con la parroquia Valladolid de la Provincia de Zamora Chinchipe y al Oeste con la ciudad de Amaluza (PDyOT-Santa Teresita, 2019).

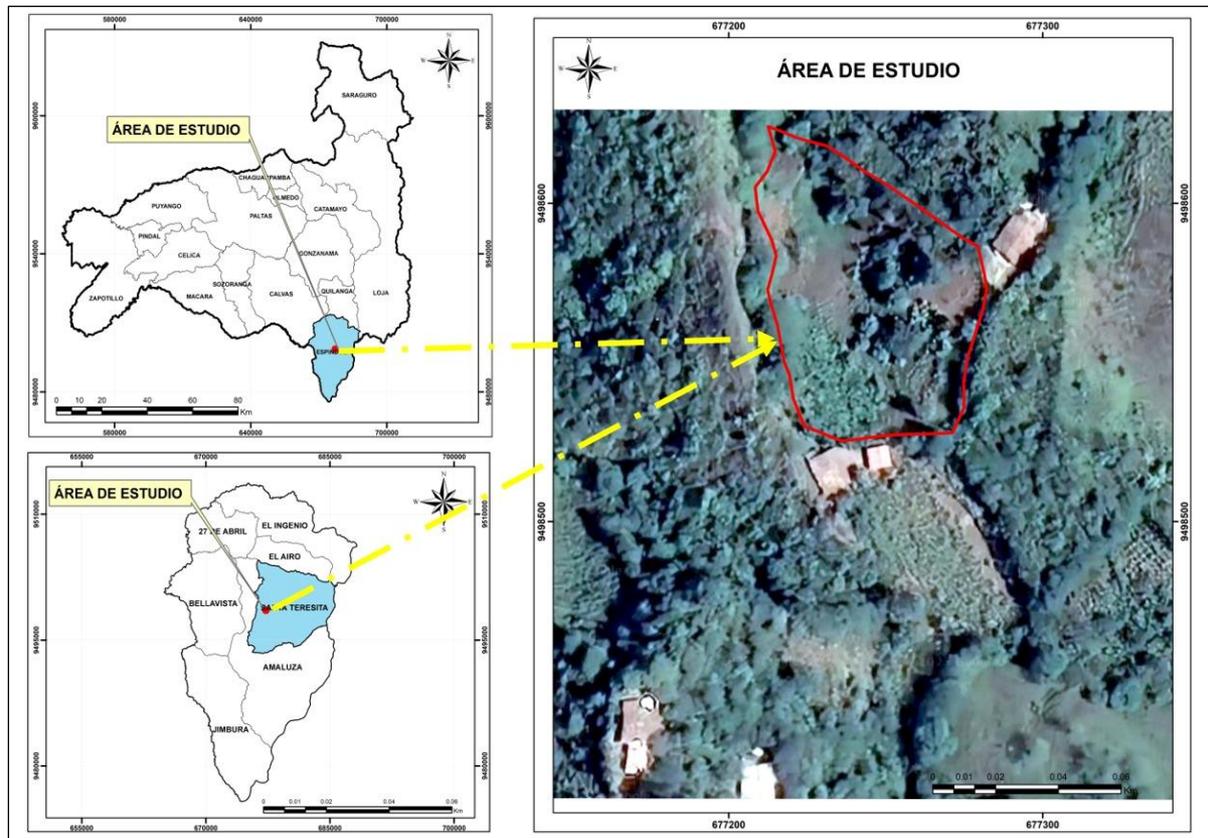


Figura 4. Ubicación del barrio Guarango, cantón Espíndola, provincia Loja

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar (IGM)

**Elaborado:** Autor

#### 5.1.2. Ubicación Geográfica

El lugar corresponde a las siguientes coordenadas geográficas: UTM (WGS 84, zona 17 S), Norte 9 499 275 m, Este 677 492 m, Altitud 1 732 m.s.n.m.

### **5.1.3. Descripción de la zona de estudio**

La finca se encuentra a 6km de distancia de la parroquia Santa Teresita y dispone de acceso permanente mediante un camino público, el cual se deriva de la vía secundaria Cangochara – Collingora, según PDyOT-Santa Teresita (2019), la parroquia tiene una zona de vida bosque montano bajo (bh-MB), una temperatura mínima de 12°C y máxima 20°C, precipitación de 1 669,7 mm anuales y una humedad relativa ambiental de 70 %.

## **5.2. Materiales y equipos**

### **5.2.1. Materiales**

Se utilizaron los siguientes materiales: medidor de presión (manómetro), barrenos extractor de muestras, cilindros koppecky e infiltrómetros, tabla Munsell, flexómetro, barreta, pala, libreta de apuntes, hielera termo espuma flex T3, hielo sintético. Para la determinación de la textura de suelo se utilizó lo siguiente: vasos plásticos y de precipitación, varilla de vidrio, pipetas, peras, pisetas, probetas, varilla de agitación, hidrómetro, termómetro, cronómetro. Además, catálogos de materiales de riego, valores climáticos reposados en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI).

### **5.2.2. Equipos**

Los equipos utilizados fueron: GPS diferencial, cámara fotográfica, estufa, balanza, agitador mecánico vertical para suelos con sus accesorios, calculadora, computadora portátil.

### **5.2.3. Recursos tecnológicos**

Se utilizo el programa de diseño de ingeniería, sistema de información geográfica, CROPWAT 8.0, hoja de cálculo y procesador de texto.

## **5.3. Metodología del estudio**

### **5.3.1. Diseño de la investigación**

El enfoque de la investigación es cualitativo. Por esta razón no es necesario realizar una investigación experimental, además como el objetivo de la investigación es contribuir al manejo eficiente del recurso agua y suelo mediante el método de riego por goteo, el estudio no manipulara variables para analizar las consecuencias de esta acción. El análisis fue de manera normal, es decir se observó las variables en su contexto normal.

Se realizó una investigación transeccional debido a que estas investigaciones solamente recolectan datos en un momento y tiempo.

### **5.3.2. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la presente investigación es de tipo cualitativo, basándose en la descripción del suelo, el clima, diseño agronómico e hidráulico y cálculos matemáticos destinados al riego por goteo.

### **5.3.3. Tamaño de la población**

El estudio se llevó en el predio del Sr. Juan Alberto Cruz, ubicado en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita que tiene un área de 5 019,76 m<sup>2</sup>, dividida en dos subunidades de 2 468,60 m<sup>2</sup> y 2 551,16 m<sup>2</sup>.

### **5.3.4. Muestra y muestreo**

Como la topografía del área de estudio es irregular, se dividió en 2 subunidades, en donde se realizó una calicata para la toma de muestras en los horizontes de los perfiles del suelo, velocidad de infiltración, presión, caudal y agua para obtener la información necesaria del área de riego.

### **5.3.5. Técnica de recolección de datos**

Para la recolección de datos se utilizó el método analítico, con la técnica de fuentes primarias se obtuvo: levantamiento topográfico con el receptor GPS diferencial, caudal mediante aforo, presión con un manómetro, calidad del agua obtenido en el Laboratorio de Aguas, Suelos y Alimentos del Centro de Investigación, Estudios y Servicios Analíticos (CIESSA) de la ciudad de Loja, constantes hidrofísicas y físicas del suelo de los Laboratorios de Suelos, Aguas y Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, y Suelos, Foliar y Aguas de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito; y, con la técnica de fuentes secundaria, condiciones climáticas conseguida del INAMHI, coeficiente del cultivo del manual de FAO y la documentación que muestran la correspondencia entre el campo que cubren los documentos y el campo de análisis de la investigación.

### **5.3.6. Técnica de procesamiento de datos**

El procesamiento de la información, se utilizó la técnica de organización de datos a través del programa de diseño de ingeniería, sistema de información geográfica, CROPWAT 8.0 y una hoja electrónica.

## **5.4. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita**

Para alcanzar este objetivo se realizó en primera instancia el reconocimiento de la fuente de agua, área de estudio, medición de caudal y presión, y el análisis físico – químico del agua.

### ***5.4.1. Reconocimiento de la fuente de agua y área del sitio de estudio***

Se efectuó una visita a la zona de estudio para identificar el funcionamiento y organización del sistema de riego que abastece de agua al predio; así mismo, se reconoció el área del terreno para establecer los sitios de muestreo de suelos, mismos que permitieron obtener los parámetros de diseño del riego por goteo.

### ***5.4.1. Medición del caudal y presión disponible para el riego***

La medición del caudal se realizó en derivación de la conducción que abastece al predio (acometida), el método utilizado es el volumétrico que consiste en llenar un recipiente de volumen conocido en varios periodos de tiempo (FAO 68 y Hudson, 1997). La ecuación aplicada es:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q Caudal ( $l\ s^{-1}$ )

V Volumen (l)

t Tiempo (s)

La medición de presión se efectuó con un manómetro, el cual se instaló en el extremo final de la tubería que llega al predio. Se realizaron diez repeticiones en diferentes horas del día.

#### **5.4.2. Calidad del agua para riego.**

La muestra de agua se tomó en la Quebrada Del Desmonte de donde es captada para el predio y se realizó con base a los conceptos y recomendaciones teóricas de la FAO 47 (2007); se recogió en una zona donde el agua estaba en movimiento evitando zonas estancadas, a una profundidad intermedia entre la superficie del agua y el fondo, en un recipiente de plástico de 1 litro de capacidad, el mismo se debe enjuagar varias veces con el agua a muestrear, la condición para realizar un buen muestreo es, llenar totalmente el recipiente, evitando dejar cámaras de aire en su interior, luego se almacenó y conservó en una hielera termo espuma flex T3, con hielo sintético por lo que se mantuvo una constante cadena de frío, dicha muestra fue enviada al Laboratorio de Aguas, Suelos y Alimentos del Centro de Investigación, Estudios, y Servicios Analíticos de la ciudad de Loja para determinar: conductividad eléctrica (CE), pH, relación entre sodio, calcio y magnesio del agua, relación de absorción del sodio (RAS) y sólidos totales.

#### **5.4.3. Levantamiento topográfico**

Para realizar el levantamiento topográfico de la superficie de riego se utilizó el receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) diferencial, con proyección Universal Transversal Mercator (UTM), mediante el sistema geodésico mundial (WGS 84) en la Zona 17 Sur. Para la toma de datos se escogió un lugar despejado de vegetación u otro obstáculo, que impida recibir la señal de satélites localizados por el GPS. Una vez obtenida la posición del punto de partida visible del área a medir, se recorrió el terreno con la antena GPS cada 10 m entre puntos aproximadamente, y se registraron en el dispositivo portátil trimble Access.

Obtenidos todos los datos geográficos, se exportaron al programa de diseño de ingeniería y se realizó la topografía, a escala 1:400 con curvas de nivel cada 1 m para mayor precisión del relieve y su posterior diseño (Anexo 12).

#### **5.4.4. Caracterización Edafológica**

La descripción del perfil del suelo se realizó considerando las normas de la guía para la descripción de suelos de la (FAO, 2009); para ello, se realizaron dos calicatas de las siguientes dimensiones: 1,0 m de ancho, 1,50 m de largo y 1,35 m de profundidad, distribuidas en cada subunidad de riego, donde se estudiaron las propiedades físicas del suelo.

De los dos primeros horizontes de cada calicata se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas, de acuerdo a las indicaciones de Gómez (2013). Las muestras inalteradas se obtuvieron con los cilindros Koppecky de 100 cm<sup>3</sup> y se usaron para determinar densidad aparente y saturación del suelo. Estas muestras, junto con una porción de la muestra alterada, utilizada para determinar textura, se enviaron al Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja. De las muestras disturbadas se determinó capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua aprovechable por el método de la centrifuga en el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD en la ciudad de Quito.

#### **5.4.4.1. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.**

Para la determinación de las constantes hidrofísicas y físicas de las muestras de suelo, se consideró el procedimiento propuesto por Gómez (2013).

**Saturación:** las muestras inalteradas fueron saturadas hasta que la parte superior del cilindro se cubrió de agua ( $pF=0$ ) en términos de volumen es igual a la porosidad total, después de ello se procedió a secar la muestra a 105 °C, esta diferencia representa el porcentaje de saturación en el suelo.

**Capacidad de campo y punto de marchitez permanente:** los resultados se obtuvieron mediante un análisis realizado en el Laboratorio de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito, empleando el método de la centrífuga. Según Blair (1987); citado por López (2016), consiste en recubrir la malla de las cajas con papel filtro y añadir 20 g de muestra de suelo, luego se satura con agua las cajas por 24 horas procurando que el agua llegue hasta la mitad de la caja, posteriormente se drenan las cajas de la centrifuga por 15 minutos sobre un paño, se colocan las cajas de la centrifuga a una velocidad de 2500 rpm (1000 veces la gravedad) durante media hora, seguidamente se pesa una capsula de aluminio y se trasvasa la muestra de la caja de la centrifuga a la cápsula de aluminio, se seca la muestra en la estufa a 105 °C por 24 horas y finalmente pesar las muestras.

**Densidad aparente:** se determinó mediante el método del cilindro, que consistió:

Las muestras de suelo inalteradas, fueron pesadas antes y después de ser colocadas en la estufa, a 105 °C por 48 horas; con estos valores obtenidos se remplazaron en la siguiente fórmula:

$$D_a \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso de la muestra seca a } 105 \text{ }^\circ\text{C (g)}}{\text{Volumen del cilindro muestriador (cm}^3\text{)}}$$

### **Características físicas**

Para determinar la textura de la composición mineral del suelo de cada subunidad de riego, se utilizó el método del hidrómetro o Bouyoucos, mediante el tiempo de sedimentación de la arena, limo y arcilla, seguidamente se determinó la textura del suelo utilizando el triángulo textural (Figura 1).

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

A partir de los resultados obtenidos de las constantes hidrofísicas, se graficó en una hoja de cálculo la curva de retención de humedad del suelo, en la que se relacionó el potencial hídrico (eje Y) y el contenido volumétrico de humedad (eje X).

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

Con la ayuda del diagrama triangular de la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Figura 3); se relacionaron los valores porcentuales de agua aprovechable (AA), capacidad de aireación (CA) y el volumen físicamente inerte (VFI) (Anexo 2), obteniendo estos parámetros, se procedió a clasificar la zona de condición física del suelo para el desarrollo del cultivo.

### **Velocidad de infiltración de agua en el suelo**

Las pruebas de infiltración se ejecutaron junto a las calicatas donde se desarrolló la descripción de los perfiles del suelo, aplicando el método de anillo doble con tres repeticiones.

Se limpió una parte de la superficie del terreno para colocar el par de anillos a una profundidad considerable y correctamente nivelados (Anexo 11). Seguidamente, se llenó de agua el anillo externo y luego el interno, para iniciar de inmediato a registrar las lecturas de variación del nivel del agua en relación al tiempo del anillo interno. Finalmente, las lecturas se registraron durante 5 horas en intervalos de 5, 10, 15, 30 y 60 min, hasta que el descenso del nivel del agua se estabilizó. Los valores obtenidos se procesaron con el modelo matemático de Kostiakov.

**Infiltración acumulada:** en una hoja de cálculo se graficó la curva de infiltración acumulada mediante la ecuación de Kostiakov, a partir del tiempo acumulado (eje X) y lamina acumulada (eje Y). Se expresa la ecuación:

$$I_{cum} = A * T^B$$

Donde:

$I_{cum}$ : Infiltración acumulada (cm)

A y B: Parámetros de la ecuación (adimensional)

T: Tiempo (min)

**Infiltración instantánea:** de la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determinó la infiltración instantánea, con la expresión:

$$I_{inst} = a * t^b$$

Donde:

$I_{inst}$ : Infiltración instantánea (cm)

T: Tiempo (min)

a y b: Constantes negativas (adimensional), determinadas de las ecuaciones:

$$A = a/(b + 1) \rightarrow a = A(b + 1)$$

$$B = (b + 1) \rightarrow b = B - 1$$

**Velocidad de infiltración básica:** Se obtuvo derivando la ecuación de infiltración instantánea y se multiplico por un factor de conversión para expresarlo en horas; la ecuación:

$$I_{bas} \text{ (mm h}^{-1}\text{)} = a [(-600b)]^b$$

## 5.5. Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita

### 5.5.1. Diseño agronómico

Según Guamán (2021) en el diseño agronómico del sistema de riego es necesario conocer las características del suelo, cultivo y clima, para determinar las necesidades de agua del cultivo y los parámetros de riego que permiten planificar el uso del agua en el cultivo en épocas de máxima necesidad.

#### 5.5.1.1. Necesidades hídricas de los cultivos

Se utilizó la información de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) e información del cultivo de café (kc y etapas fenológicas). Una vez obtenida la información se determinó lo siguiente:

### - Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)

Se determinó mediante la fórmula de Hargreaves (1985) dado que se ajusta a la información proporcionada por la estación de Amaluza: temperaturas (máxima y mínima), radiación solar y humedad relativa en un periodo de 24 años (1990-2013); además, la altura de la estación meteorológica (1 672 m.s.n.m.) es cercana a la del sitio de estudio (1 732 m.s.n.m.).

La fórmula:

$$ET_o = MF * TMF * CH * CE$$

Dónde:

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia (mm mes<sup>-1</sup>)

MF: Factor mensual de latitud, se obtiene de la tabla

TMF: Temperatura media mensual (°F)

CH: Factor de corrección para la humedad relativa

$$CH = 0,166 (100 - HR)$$

HR: Humedad relativa media mensual (%); si, HR > 64 %, se emplea la fórmula; si

$$HR < 64 \%, CH = 1.$$

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CE = 1 + 0,04 * \frac{E}{2000}$$

### - Coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>)

Se graficó la curva del K<sub>c</sub> del cultivo, tomando como referencia las etapas fenológicas propuestas por FAO (2006) para cultivos de café en suelo sin cobertura. Con la fecha de siembra y los meses que tarda en desarrollarse el cultivo, se graficó en el eje “X” el periodo de desarrollo y en el eje “Y” los valores del coeficiente de cultivo, con base a este resultado se obtuvieron valores de K<sub>c</sub> cada 15 días.

### - Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)

Se determinó mediante la ecuación propuesta por FAO 56 (2006), que relaciona la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo, así:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiración del cultivo (mm día<sup>-1</sup>)

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)

Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional)

- **Precipitación efectiva**

Para el cálculo se utilizó el programa CROPWAT 8.0, el cual aplica la ecuación de USDA Soil Conservation Service citada por la FAO 46 (2007); con base a la precipitación media mensual de la estación Amaluzá se determinó la Pe.

- **Requerimientos de riego**

Para determinar los requerimientos se utilizó la ecuación propuesta por (Fuentes, 1998):

$$\text{Requerimientos de riego} = \text{ETc} - \text{Pe}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (mm mes<sup>-1</sup>)

ETc: Evapotranspiración de referencia (mm mes<sup>-1</sup>)

- **Necesidades brutas (Nb)**

Es el cociente entre el fraccionamiento del balance hídrico con la eficiencia del sistema de riego (Ea), empleando la expresión:

$$Nb = \frac{\text{ETc}}{\text{Ea}}$$

Donde:

Nb: Necesidades brutas (mm\_día<sup>-1</sup>)

ETc: Evapotranspiración de cultivo (Kc)

Ea: Eficiencia de aplicación para el sistema de riego por goteo

- **Caudal ficticio continuo**

Este valor se calculó en l s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> a partir de las necesidades brutas para todos los días del mes, aplicando la fórmula:

$$qc = \frac{Nb}{\text{Eficiencia sistema} * 8.64}$$

Donde:

qc: Caudal continuo l s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>

Nb: Necesidades brutas del mes de máxima exigencia hídrica del cultivo (mm mes<sup>-1</sup>)

## - Necesidades netas de riego

A partir de las necesidades brutas y la metodología propuesta por Pizarro (1996) las necesidades de riego fueron corregidas:

### a) Por localización

En primera instancia se determinó la fracción del área sombreada (A) de la planta con relación a la superficie que moja, seguidamente se multiplico la proyección de la copa del árbol sobre el suelo por la densidad de las plantas, se utilizó la expresión:

$$A = \frac{\pi Dm^2}{4 (a * b)}$$

Donde:

A: Área sombreada de la planta (m<sup>2</sup>)

Dm<sup>2</sup>: Diámetro de la copa del árbol (m)

a: Distancia entre plantas (m)

b: Distancia entre hileras (m)

Para encontrar el valor Kl nos basamos en cuatro fórmulas de cálculo, siendo A la fracción del área sombreada de la planta.

Ecuación de Aljibury .... Kl = 1,34 A

Ecuación de Decroix ..... Kl = 0,1 + A

Ecuación de Hoare ..... Kl = A + 0,5 (1 - A)

Ecuación de Keller ..... Kl = A + 0,15 (1 - A)

Determinados los valores de Kl, se eliminan los extremos (valores máximo y mínimo), y se determina el promedio de los dos valores restantes.

### b) Por condiciones locales

Son los efectos ocasionados por las condiciones del sitio sobre la evapotranspiración corregida, por lo cual se tiene:

**Variación climática (Kv):** Se adoptó el criterio de Hernández Abreu de aplicar siempre un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20. Considerando Kv = 1,20 para este diseño.

**Variación por advección (Ka):** Se lo obtuvo a partir de la superficie que se va a regar y de la naturaleza del cultivo, utilizando el grafico ilustrado a continuación:

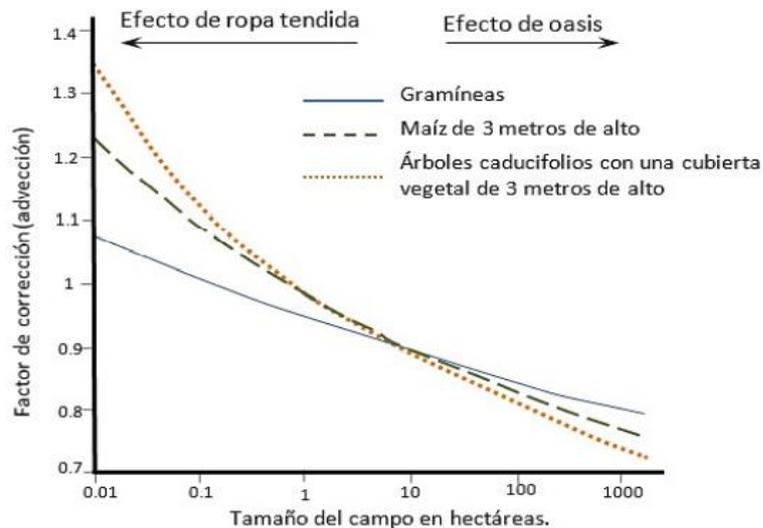


Figura 5. Coeficiente de advección de acuerdo al área del terreno

**Fuente:** Pizarro (1996)

Una vez obtenidos los valores de corrección se los multiplica por la  $ET_c$  obteniendo el valor de evapotranspiración corregida ( $E_{tr}$ ). Empleando la fórmula:

$$E_{tr} = ET_c * K_l * K_v * K_a$$

### c) Necesidades netas de riego (NT)

Una vez obtenido el valor de ( $E_{tr}$ ). Se calculó las necesidades netas ( $N_n$ ) a partir del balance hídrico, de acuerdo a la ecuación:

$$N_n = E_{tr} - (P_e + G_w + \Delta w)$$

Donde:

$E_{tr}$ : Evapotranspiración corregida ( $mm\ día^{-1}$ )

$P_e$ : Precipitación efectiva (mm)

$G_w$ : Aporte capilar, (mm)

$\Delta w$ : Variación en el almacenamiento de agua (mm)

### d) Necesidades totales

El cálculo se realizó a partir de las necesidades netas ( $N_n$ ) para ello se consideró:

- Pérdidas por percolación (K)
- Eficiencia de aplicación ( $E_f$ ) según MINAGRI (2015): 90 % para riego por goteo.

$$K = 1 - ef. aplicacion$$

Para calcular las necesidades totales ( $N_t$ ), se aplicó la ecuación:

$$N_t = \frac{N_n}{C_u(1 - K)}$$

Donde:

$N_n$ : Necesidades netas (mm día<sup>-1</sup>)

$K$ : Coeficiente de pérdidas por percolación

$C_u$ : Coeficiente de uniformidad (Cu) valor 0,9.

**- Necesidad diaria por árbol**

Se calculó de acuerdo al marco de riego (mm día<sup>-1</sup>):

$$N_{\text{diarias}} = N_t * a * b$$

Donde:

$N_t$ : Necesidad total (mm día<sup>-1</sup>)

$a$ : Separación entre plantas (m)

$b$ : Separación entre hileras (m)

**5.5.1.2. Parámetros de riego**

A continuación, se presentan los parámetros, dosis, frecuencia y tiempos de riego que siguen la metodología propuesta por Martínez (2014). Son los que condicionan al diseño hidráulico, todos estos parámetros están relacionados entre sí, por lo que es importante considerar el caudal del gotero (4 h<sup>-1</sup>) y la textura del suelo.

**- Área mojada por emisor**

Primeramente, se calculó el diámetro mojado ( $D_s$ ) tomando en cuenta la textura del suelo y el caudal del emisor anteriormente seleccionado. Se aplicó la expresión:

$$D_s = 0,3 + 0,12 * q$$

Con el valor del diámetro mojado ( $D_s$ ) se determinó el área mojada:

$$A_e = \frac{\pi D_s^2}{4}$$

**- Número de emisores por planta.**

Para su determinación se utiliza la ecuación:

$$n_e \geq \frac{S_p * P}{100 * A_e}$$

Donde:

$n_e$ : Número de goteros por planta (u)

P: % de suelo mojado propuesto por Keller 1978 en Pizarro (1996); clima húmedo:  
20. %

$Sp$ : Disposición entre plantas ( $m^2$ )

$Ae$ : Área mojada del gotero ( $m^2$ )

- **Separación entre emisores ( $Se$ )**

Se considera un traslape (S) mínimo de 15 % y máximo 30 % y el radio húmedo ( $Rm$ ) de emisor según la textura del suelo.

$$Se = Rm \left( 2 - \frac{S}{100} \right)$$

Donde:

$Se$ : Separación entre emisores (m)

$Rm$ : Radio húmedo (m)

s: Traslape recomendado (%)

- **Porcentaje de superficie mojada real.**

El porcentaje se lo determinó con la formula:

$$P = \frac{Ne * 100 * Ae}{Sp}$$

Donde:

$Ne$ : Número de goteros por planta (u)

$Ae$ : Área mojada del gotero por planta ( $m^2$ )

$Sp$ : Disposición de plantas en ( $m^2$ )

- **Dosis, frecuencia y tiempos de riego.**

Para determinar estos parámetros, se calculó:

**a) Lamina neta:**

Para determinar la cantidad de agua que se debía reponer en el suelo estratificado, se calculó con la expresión propuesta Tarjuelo (2005)

$$Ln = 10\,000 * \left( \frac{CC - PMP}{100} * Z * Da \right) DPM$$

Donde:

$L_n$ : Lámina de riego ( $m^3 ha^{-1}$ )

$CC$ : Capacidad de campo de cada horizonte (%)

$PMP$ : Punto de marchitez permanente de cada horizonte (%)

$Z$ : Profundidad radicular (m)

$Da$ : Densidad aparente de cada horizonte ( $t m^{-3}$ )

$DPM$ : Déficit permisible de manejo: 45 %

#### **b) Frecuencia de riego ( $Fr$ ):**

Para determinar cada que tiempo se debía aplicar el agua en el suelo, para reponer la lámina de riego. Se aplicó la ecuación:

$$Fr = \frac{L_n}{N_t}$$

Donde:

$Fr$ : Frecuencia de riego (días)

$L_n$  Lamina neta o lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

$N_t$  Necesidad total de riego ( $mm día^{-1}$ )

#### **c) Tiempo de riego:**

Se determinó a partir de la expresión:

$$t = \frac{N_t * Fr}{n_e * Q_a}$$

Donde:

$t$  Tiempo de riego ( $h día^{-1}$ )

$N_t$  Necesidades totales ( $mm día^{-1}$ )

$n_e$  Número de emisores por planta (u)

$Q_a$  Caudal del gotero ( $l h^{-1}$ )

$Fr$  Frecuencia de riego (día)

### **5.5.2. Diseño hidráulico**

Se determinaron los componentes, dimensionado de la red y su distribución, para poder satisfacer las necesidades de agua al cultivo en un tiempo determinado (Guamán, 2021).

### 5.5.2.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego.

#### - Caudal del lateral y secundaria.

El caudal de los laterales se determinó con la expresión:

$$Ql = Qe * Ngl$$

Donde:

Ql: Caudal del lateral ( $l\ s^{-1}$ )

Qe: Caudal del emisor ( $l\ s^{-1}$ )

Ngl: Número de goteros por lateral (u)

Para calcular el caudal de la tubería secundaria se empleó la ecuación:

$$Qs = Ql * Ne$$

Donde:

Qs: Caudal de la secundaria ( $l\ s^{-1}$ )

Ql: Caudal del lateral ( $l\ s^{-1}$ )

Ne: Número de laterales en la subunidad de riego (u)

#### - Longitud del lateral y secundaria

Se utilizó el programa de ingeniería para dibujar la tubería lateral y secundaria de cada subunidad de riego, seguidamente se calculó la distancia del lateral más crítico de cada subunidad y la tubería secundaria.

#### - Pérdidas de carga máxima admisible

Para calcular la pérdida de presión permisible en las subunidades de riego (lateral y secundaria), se acogió al criterio de Fuentes (1998), aplicando la expresión:

$$h\ \text{m}á\text{x.} = \frac{0.1 * p}{x}$$

Donde:

h máx.: Pérdida de carga máxima admisible (m.)

p: Presión media de los goteros (m.)

x: Exponente de descarga del gotero, propuesto por Lopez et al (1997); gotero auto compensante: 0,1386.

### - **Perdidas de carga por fricción**

Las tuberías secundaria y lateral son de salidas múltiples, por lo que las pérdidas de carga por fricción se calcularon utilizando la fórmula matemática:

$$hf = J * L * F$$

Donde:

hf: Pérdida de carga en la tubería (m)

J: Gradiente hidráulico ( $m\ m^{-1}$ )

L: Longitud de la tubería (m)

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

**Coeficiente de Christiansen (F):** se determinó con la ecuación:

$$F = \frac{2n}{(2n - 1)} * \left( \frac{1}{B + 1} \right) * \left( \frac{(B - 1)^{1/2}}{6n^2} \right)$$

Donde:

F: Factor de Christiansen (adimensional)

B: Para la tubería: P.V.C (1,8); polietileno (1,75); aluminio (1,9)

n: Número de salidas en la tubería (u)

### - **Velocidad del agua**

Se determinó a partir de la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V: Velocidad media del agua en la tubería ( $m\ s^{-1}$ )

Q: Caudal ( $m^3\ s^{-1}$ )

A: Área de la sección circular interna de la tubería ( $m^2$ )

De acuerdo al presente diseño del sistema de riego, la posición de los laterales y secundaria es descendente; se utilizó las siguientes ecuaciones para determinar la presión al inicio y final del lateral y secundaria (Monge, 2018).

### - **Presión a la entrada del lateral**

Se calculó con la expresión:

$$P_o = P_N + 0,73 * h_{fl} - \frac{\Delta z}{2}$$

Donde:

P<sub>o</sub>: Presión a la entrada del lateral (mca)

P<sub>N</sub>: Presión nominal del gotero (m)

h<sub>fl</sub>: Pérdidas de carga en el lateral (mca)

Δz: Desnivel topográfico (descendente) a lo largo del lateral (m)

**- Presión al final del lateral**

Se calculó con la ecuación:

$$P_o = P_N + 0,27 * h_{fl} + \frac{\Delta z}{2}$$

Donde:

P<sub>o</sub>: Presión al final del lateral (mca)

P<sub>N</sub>: Presión nominal de funcionamiento del gotero (m)

h<sub>fl</sub>: Pérdidas de carga en el lateral (mca)

Δz: Desnivel topográfico (descendente) en el sentido del lateral (m)

**- Presión de entrada en la secundaria**

Se determinó con la expresión:

$$P_o = P + h_{fl} - \Delta z$$

Donde:

P<sub>o</sub>: Presión a la entrada de la secundaria (mca)

P: Presión requerida a la entrada de la tubería que suministra (m)

h<sub>fl</sub>: Pérdidas de carga en la secundaria (mca)

Δz: Desnivel topográfico (descendente) en la dirección de la secundaria (m)

### 5.5.2.2. Diseño de la tubería principal

**- Caudal de la principal**

El caudal de la tubería principal se lo determinó con base a la ecuación:

$$Q_p = Q_s * N_l$$

Donde:

Q<sub>p</sub>: Caudal de la principal (l s<sup>-1</sup>)

Qs: Caudal de la tubería secundaria (l s<sup>-1</sup>)

Nl: Número de tuberías secundarias en funcionamiento en el mismo momento (u)

#### - **Perdidas de carga por fricción longitudinal**

Para determinar las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams para tuberías de PVC o Polietileno:

$$hf = J * L$$

Donde:

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

J: Gradiente hidráulico (m m<sup>-1</sup>)

L: Longitud de la tubería (m)

En cuanto al gradiente hidráulico se calculó utilizando la fórmula:

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

Donde:

Q: Caudal en (l h<sup>-1</sup>)

C: Coeficiente de fricción

D: Diámetro interior de la tubería (mm)

#### - **Velocidad del agua en las tuberías**

Se determinó siguiendo la metodología detalla en el cálculo del lateral y secundaria (Ver apartado 5.5.2.1)

### **5.5.2.3. Carga dinámica total**

Se determinó con la expresión:

$$CDT = Po + hflt + hfl + hfl_{\text{filtro}} + hfl_{\text{acc}}$$

Donde:

Po: Presión de operación

hflt: Perdida de carga total en la subunidad

hfl: Pérdidas de carga en la tubería principal (m)

hfl<sub>filtro</sub> Perdidas de carga del filtro (m)

hfl<sub>acc</sub> Perdidas de carga por accesorios (m)

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita

#### 6.1.1. Descripción de la fuente abastecedora de agua y área del sitio de estudio.

El predio es abastecido por un reservorio de 625 m<sup>3</sup>, ubicado en la parte alta del barrio Guarango; su fuente de abastecimiento es la Quebrada del Desmonte, mediante un canal de hormigón simple se suministra de agua al reservorio durante la época seca. Del reservorio se desprende una tubería con diámetro nominal de 160 mm, de donde se derivan las conexiones para los usuarios hasta los predios con una tubería de 50 mm de diámetro nominal. La junta de regantes no ha establecido turnos de riego, por lo que el caudal es permanente en la época seca del año. Así mismo, mediante una inspección visual del predio, se dividió en 2 subunidades o áreas de terreno para la descripción del perfil de suelo y posteriormente diseño del sistema, debido a las condiciones de topografía y drenaje que presenta el mismo.

#### 6.1.2. Caudal y presión disponible para el riego

Se realizó la medición del caudal (Tabla 5) por el método volumétrico en época seca, del mes de mayo a septiembre, con un caudal diario de 3,7 l s<sup>-1</sup>, que llega en una tubería de 50 mm y una presión (Anexo 1) promedio de 66 mca; estos valores se utilizaron para el diseño del sistema de riego.

Tabla 5. Valores de caudal

Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l s <sup>-1</sup> )
70	19,22	3,64
70	19,06	3,67
70	18,36	3,81
<b>Promedio</b>	18,88	3,7

Elaborado: Autor

#### 6.1.3. Calidad del agua para el riego

El agua es de pH neutro (7,1), con valores bajos de CE (0,13 dS m<sup>-1</sup>), Ca, Mg, Na, K, Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, baja presencia de sales y sodificación como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades químicas y físicas del agua de la quebrada del Desmonte

Característica	Símbolo	Unidad	Valor
<b>Salinidad</b>			
Contenido en sales:			
Conductividad eléctrica	CE	dS m <sup>-1</sup>	0,13
Sólidos disueltos totales	SDT	meq l <sup>-1</sup>	80,4
Cationes y aniones:			
Calcio	Ca	meq l <sup>-1</sup>	0,90
Magnesio	Mg	meq l <sup>-1</sup>	0,09
Sodio	Na	meq l <sup>-1</sup>	1,08
Potasio	K	mg l <sup>-1</sup>	13,4
Carbonato	CO <sub>3</sub>	meq l <sup>-1</sup>	0,00
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub>	meq l <sup>-1</sup>	0,74
Cloruro	Cl	meq l <sup>-1</sup>	1,08
<b>Varios</b>			
Relación de Absorción de Sodio	RAS	meq l <sup>-1</sup>	1,53
Carbonato de sodio Residual	CSR	meq l <sup>-1</sup>	0,25
Acidez	pH	su <sup>-1</sup>	7,10

**Elaborado:** Autor

**Fuente:** CIESSA (2023)

#### 6.1.4. Superficie a regar

Mediante el programa de diseño de ingeniería, se determinó que la superficie total a irrigar es de 5 019,76 m<sup>2</sup>, esta superficie se dividió en 2 subunidades de riego según la pendiente, 2 468,60 m<sup>2</sup> que fue contemplada como subunidad 1 con una pendiente de 46 % y 2 551,16 m<sup>2</sup> como subunidad 2 con una pendiente de 26 %, como se evidencia en la Figura 6.

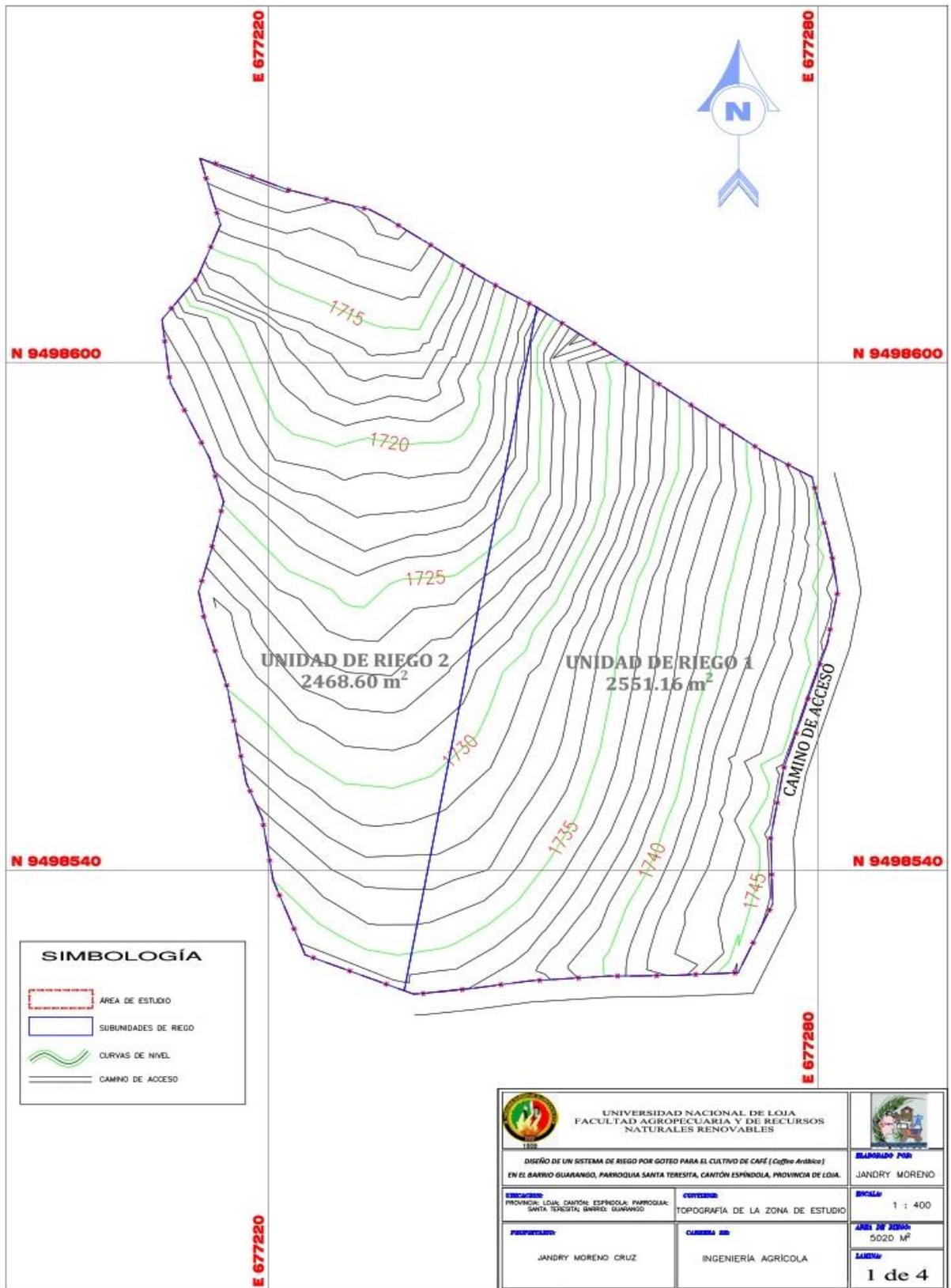


Figura 6. Topografía de la zona de estudio  
 Elaborado: Autor

### 6.1.5. Descripción del perfil del suelo

En las Tablas 7 y 9 se observa la descripción general de cada sector, destacando diferentes pendientes y profundidades efectivas ubicadas en la misma área de estudio. Además, en las Tablas 8 y 10 se presentan las características físicas y morfológicas de los perfiles, donde se observa que presentan 4 horizontes a distintas profundidades.

Tabla 7. Características generales del sector y el perfil modal de P1

Características del Perfil P1	
Sector	Guarango
Código	P1
Altitud	1745 msnm.
Coordenadas	677270 E – 9498558 N
Relieve	Montaña
Forma del terreno	Fuertemente socavado
Pendiente / Forma	46 % / convexa
Microrelieve	Caballones
Uso de la tierra	Agricultura
Vegetación	Cultivos
Material Parental	Rocas Sedimentarias
Profundidad Efectiva	55 cm
Pedregosidad superficial	No
Afloramientos Rocosos	No
Drenaje	Bien Drenado



**Elaborado:** Autor

Tabla 8. Características físicas y morfológicas del perfil P1

Profundidad (cm)	Símbolo	Descripción del perfil
0-11	Ap	Castaño amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; franco arcillo limoso (FAL); bloques subangulares medios moderados; friable en húmedo, plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, gruesas muy escasas; poros muy finos y finos abundantes; fragmentos gruesos esféricos, grava fina; límite lineal, claro.

Profundidad (cm)	Símbolo	Descripción del perfil
11-36	Bt	Castaño amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; arcillo limoso (AL); bloques subangulares medios fuertes; firme en húmedo muy plástico y adhesivo; raíces muy finas y finas abundantes, medios y gruesas comunes; poros muy finos y finos abundantes, gruesos escasos; fragmentos gruesos de forma esférica, grava fina; límite claro y topografía suave.
36-55	Bt <sub>2</sub>	Castaño amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; arcillo limosa (AL); bloques subangulares medios fuertes; en húmedo friable muy plástico y adhesivo; raíces comunes finas y medios, muy finas escasa; poros finos y medios comunes; fragmentos rocosos esféricos, grava fina; límite abrupto, topografía ondulada.
55-130	C	Amarillo rojizo (7,5 YR 6/8); arenoso (a) al tacto; no plástico y no adhesivo; poros muy finos, finos abundantes.

**Elaborado:** Autor

Tabla 9. Características generales del sector y perfil modal de P2

Características de la Calicata C2	
Sector	Guarango
Código	P2
Altitud	1 733 msnm.
Coordenadas	677 235 E – 9 498 569 N
Relieve	Valle
Forma del terreno	Colinado
Pendiente / Forma	26 % / cóncava
Microrelieve	Caballones
Uso de la tierra	Agricultura
Vegetación	Cultivos
Material Parental	Rocas Sedimentarias
Profundidad Efectiva	130 cm
Pedregosidad superficial	No
Afloramientos Rocosos	No
Drenaje	Moderadamente bien drenado



**Elaborado:** Autor

Tabla 10. Características físicas y morfológicas del perfil P2

Profundidad (cm)	Símbolo	Descripción del perfil
0-12	Ap	Gris muy oscuro (10 YR 3/1); franco arcillo limoso (FAL); bloques subangulares medios fuertes; firme en húmedo plástico y adhesivo; raíces muy finas, finas y gruesas abundantes; poros muy finos, finos, gruesos abundantes; fragmentos rocosos de forma esférica, grava fina; límite lineal, claro.
12-48	Bt <sub>1</sub>	Marrón oscuro (7,5 YR 3/3); franco arcillo limoso (FAL); bloques subangulares medios fuertes; firme en húmedo muy plástico y adhesivo; raíces muy finas, finas, medias y gruesas abundantes; poros muy finos, finos, medios abundantes y gruesos escasos; límite lineal, claro.
48-78	Bt <sub>2</sub>	Marrón muy oscuro (7,5 YR 2,5/3); arcilloso (A); bloques subangulares medios fuertes; pocas manchas rojo amarillento (5 YR 5/6); firme en húmedo plástico y muy adhesivo; raíces gruesas abundantes, medias comunes y muy finas, finas escasas; poros muy finos, finos abundantes y medios comunes; fragmentos gruesos esféricos, grava fina; límite lineal claro.
78-130	Bw	Marrón rojizo (5 YR 4/4); arcilloso (A); bloques subangulares medios fuertes; firme en húmedo plástico y adhesivo; raíces muy finas, finas, medias comunes; poros muy finos, finos abundantes y medios comunes.

**Elaborado:** Autor

En las Tablas 11 y 12 se presenta las características físicas del lugar del suelo con fines de riego.

Tabla 11. Clasificación técnica del suelo del perfil P1.

Uso del suelo	Símbolo	Descripción
<b>Capacidad de Uso</b>	VIIe1	Se determina que el suelo presenta limitaciones severas para cualquier uso agrícola, y que podrían ser usados en pastoreo de baja carga animal, por presentar pendientes sobre 46 %, que genera un alto riesgo de erosión potencial.
<b>Drenaje</b>	W5	Bien drenado. Cuenta una adecuada distribución de poros finos que permiten una buena retención de agua y medios que favorecen un buen drenaje, así mismo los factores como la alta pendiente e insuficiente cobertura vegetal disminuyen la tasa de infiltración y producen escorrentía superficial, que pese a esto gran cantidad de agua infiltra en el sistema suelo.

Uso del suelo	Símbolo	Descripción
Aptitud para riego	6t	No apta para uso de sistemas tradicionales de riego, limitado principalmente por la topografía, ya que presenta una alta gradiente de pendiente, y rasgos de erosión actual y potencial relacionados a ella.

Elaborado: Autor

Tabla 12. Clasificación técnica del suelo del perfil P2

Uso del suelo	Símbolo	Descripción
Capacidad de Uso	VI s5	Suelo que presenta moderadas limitaciones para el cultivo agrícola, en todo el perfil se observa clase textural arcillosa que infiere una baja porosidad de aireación, y permeabilidad intermedia a lenta. Además, presenta una topografía con pendientes por sobre el 26 %. Se podría hacer usos agrícolas de algunas especies bajo una buena gestión de manejos.
Drenaje	W4	Bien drenado. Suelo profundo, que parece tener buena capacidad de retención de agua, pero no muestra algún rasgo de anegamiento ni procesos de oxidación en todo el perfil y sin horizontes cementados que restrinjan el paso del agua.
Aptitud para riego	5t	Condiciones especiales. Suelos no apto para uso de sistemas de riego por gravedad. Suelo limitado principalmente por la topografía ya que presenta pendientes fuertes, que determina un alto potencial de erosión de suelo.

Elaborado: Autor

#### 6.1.6. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo

En la Tabla 13 se presentan los resultados de los contenidos de humedad en unidades volumétricas de los primeros horizontes, donde se tienen que para el perfil 1, el valor promedio de capacidad de campo es 32 %, punto de marchitez permanente de 17,39 % y el estado poroso del suelo o saturación de 50,97 %. Para el perfil 2 se tiene que la CC = 41,85 %, PMP = 22,75 % y el estado poroso del suelo o saturación de 53,88 %.

Tabla 13. Contantes hidrofísicas y físicas de dos perfiles de suelo

Perfil	Profundidad cm	Horizonte	Saturación	CC	PMP	Da (g cm <sup>-3</sup> )
			pF = 0 (%)	pF = 2,52 (%)	pF = 4,2 (%)	
1	00 - 11	Ap	51,63	31,57	17,16	1,27
	11 - 36	Bt	50,30	32,43	17,62	1,29
			<b>50,97</b>	<b>32,00</b>	<b>17,39</b>	<b>1,28</b>

Perfil	Profundidad cm	Horizonte	Saturación	CC	PMP	Da (g cm <sup>-3</sup> )
			pF = 0 (%)	pF = 2,52 (%)	pF = 4,2 (%)	
2	00 - 12	Ap	54,10	37,38	20,31	1,10
	12 - 48	Bt	53,65	46,32	25,18	1,14
			<b>53,88</b>	<b>41,85</b>	<b>22,75</b>	<b>1,12</b>

Elaborado: Autor

### Características físicas del suelo

La clase textural del perfil 1 en el horizonte Ap y Bt es Franco Arcillosa y una densidad aparente de 1,27 y 1,29 g cm<sup>-3</sup>, en su orden. Para el perfil 2, en el horizonte Ap la clase textural es Franco Arcillosa y una densidad aparente de 1,1 g cm<sup>-3</sup>; para el horizonte Bt la clase textural es arcillosa y una densidad aparente de 1,14 g cm<sup>-3</sup>; los porcentajes de las fracciones del suelo estudiado se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Relación de la clase textural y la proporción de fracción del suelo

Perfil	Profundidad cm	Horizonte	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación	Da (g cm <sup>-3</sup> )
1	00 - 11	Ap	38	32	30	FA	1,27
	11 - 36	Bt	33	30	37	FA	1,29
2	00 - 12	Ap	34	34	32	FA	1,10
	12 - 48	Bt	17	35	48	A	1,14

Elaborado: Autor

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

En la figura 7, se refleja la curva de retención de humedad del suelo para la subunidad 1 de riego, semejante a la de un suelo con textura franco arcilloso; esta se obtuvo en base a los resultados de las constantes hidrofísicas de capacidad de campo (CC) de 32 %, punto de marchitez permanente (PMP) de 17,39 % y al estado poroso del suelo o saturación de 50,97 %, por otro lado, el agua aprovechable y rápidamente aprovechable, capacidad de aireación y volumen de poros físicamente inertes, se evidencia de manera gráfica.

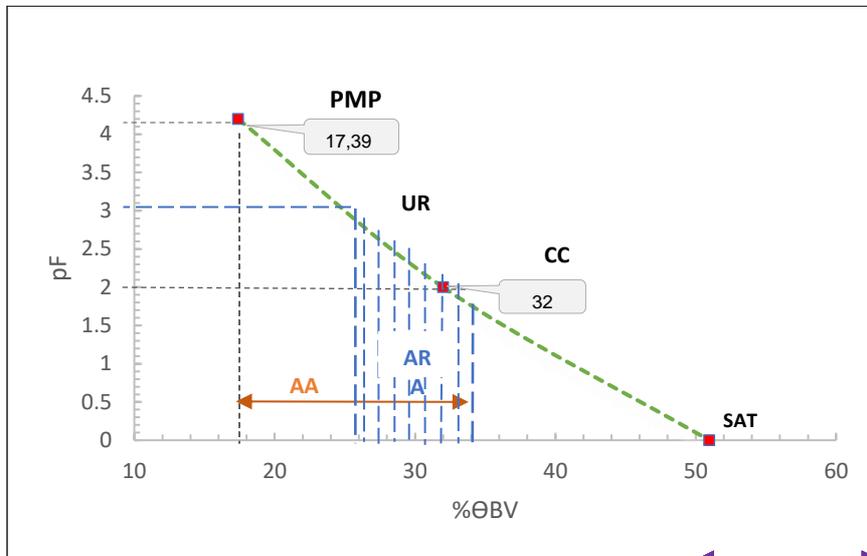


Figura 7. Curva de retención de humedad del suelo, subunidad 1

Fuente: Autor

La curva de retención de humedad del suelo para la subunidad 2 de riego se presenta en la Figura 8, semejante a la de un suelo con textura arcilloso, se obtuvo en base a los resultados de las constantes hidrofísicas de CC = 41,85 % a pF 2,0; PMP = 18,58 % a pF 4,2 y al estado poroso del suelo o saturación de 53,88 %.

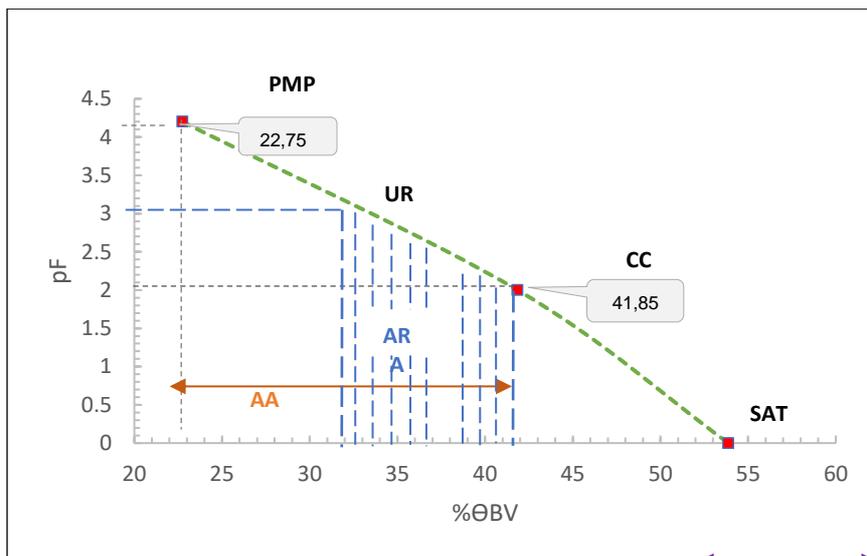


Figura 8. Curva de retención de humedad del suelo, subunidad 2

Fuente: Autor

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

En la Tabla 15, se presenta los resultados de los análisis físicos de las subunidades de riego, en la primera subunidad el Agua Aprovechable (AA) tiene una media de 14,61 %, Capacidad de Aireación (CA) de 18,97 % y Volumen Físicamente Inerte (VFI) de 66,42 %; mientras que, en la segunda subunidad el AA = 19,11 %; CA = 12,03 % y VFI = 68,87 %; según

el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Figura 3), las dos subunidades de riego corresponden a la zona III (Medio).

Tabla 15. Rangos de la curva característica de humedad del suelo

<b>Textura</b>	<b>AA</b> <b>%<math>\theta_v</math></b>	<b>CA</b> <b>%<math>\theta_v</math></b>	<b>VFI</b> <b>%<math>\theta_v</math></b>	<b>ZONA</b>	<b>CLASE</b>
FA	14,41	19,40	66,19		
FA	14,81	18,54	66,65	III	Medio
<b>MEDIA</b>	<b>14,61</b>	<b>18,97</b>	<b>66,42</b>		
FA	17,07	16,50	66,44		
A	21,14	7,55	71,31	III	Medio
<b>MEDIA</b>	<b>19,11</b>	<b>12,03</b>	<b>68,87</b>		

**Elaborado:** Autor

### **6.1.9. Velocidad de infiltración del agua en el suelo**

Al finalizar la prueba de campo y el procesamiento de la información generada, el valor promedio de la velocidad de infiltración básica de las tres repeticiones realizadas en la subunidad 1 y 2 de riego por el método del doble anillo fue de 17,3 mm h<sup>-1</sup> y 9,8 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, como se evidencia en la Tabla 16. El Anexo 5 presenta los resultados de campo procesados.

Tabla 16. Determinación de la velocidad de infiltración básica

<b>Unidad de riego</b>	<b>Primera Prueba</b> <b>(mm h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Segunda Prueba</b> <b>(mm h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tercera Prueba</b> <b>(mm h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Promedio</b> <b>(mm h<sup>-1</sup>)</b>
1	16,4	17	18,6	17,3
2	8	1	10,2	9,8

**Elaborado:** Autor

En la Figura 9, se observa que la altura de agua que ingreso al perfil de la subunidad 1 fue de 27,40 cm, durante 5 horas que duró la prueba. Cabe recalcar que la presencia de macro, micro y meso poros dentro del perfil influyeron en la velocidad de infiltración del flujo.

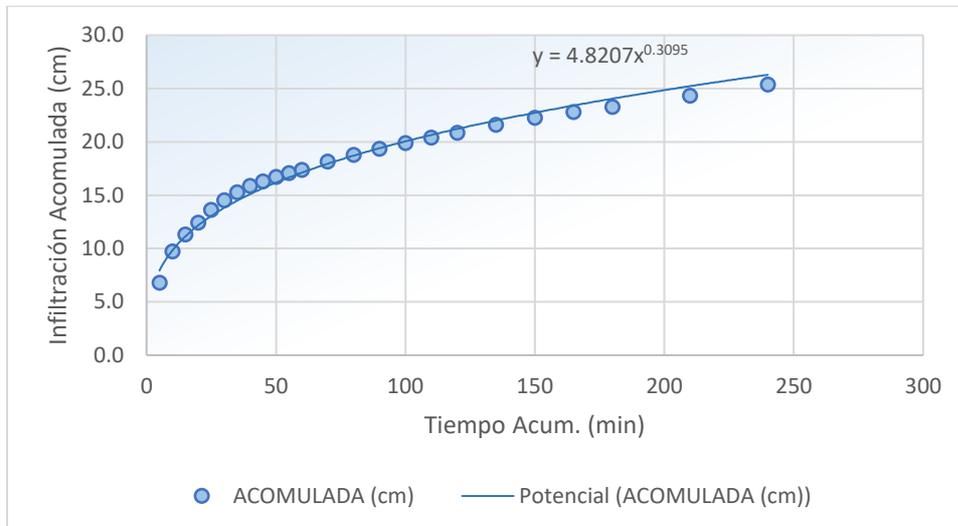


Figura 9. Curva de infiltración del agua en el suelo de la subunidad 1  
**Fuente:** Autor

En la Figura 10, se refleja que la infiltración acumulada en el perfil de la subunidad 2 es de 16,14 cm, en 5 horas en que fue desarrollada la prueba. Por tanto, se puede considerar, que este suelo limita la perdida de agua y nutrientes al retener agua y se puede reducir la frecuencia de irrigación.

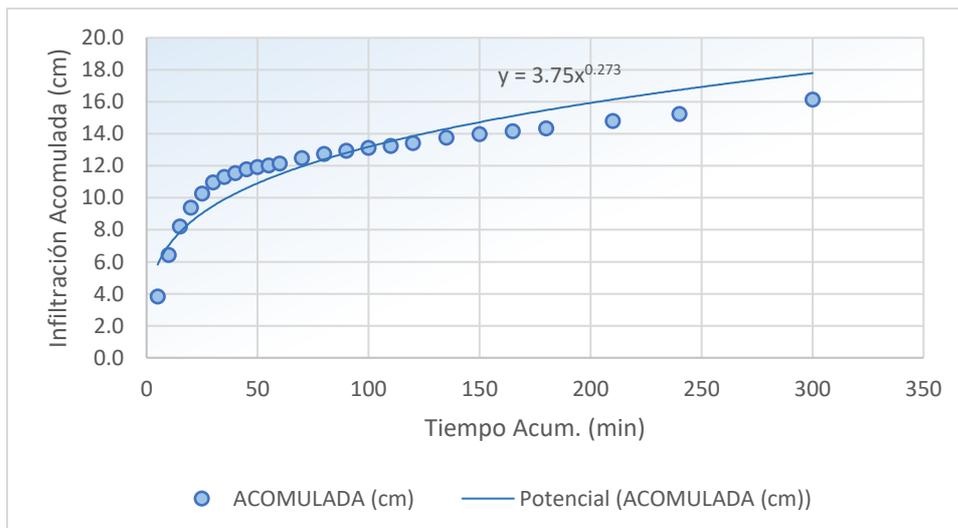


Figura 10. Curva de infiltración del agua en el suelo de la subunidad 2  
**Fuente:** Autor

## 6.2. Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arábica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita

### 6.2.1. Diseño agronómico.

Se determinaron los requerimientos hídricos para la época de máxima demanda de agua por el cultivo de café, por lo cual primero se calcularon las necesidades de agua del cultivo y los parámetros de riego requeridos en el sistema.

#### Necesidades hídricas de los cultivos

Para su determinación se obtuvieron los valores de:

#### Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)

Con datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorológica Amaluza y con el método de Hargreaves, se obtuvieron los valores mensuales de la evapotranspiración del cultivo de referencia que se presentan en la Tabla 17. La mayor ET<sub>o</sub> durante el año se presenta entre los meses de julio a diciembre donde septiembre presenta el mayor valor con 4,57 mm día<sup>-1</sup>, mientras que, los meses con menor evapotranspiración son de enero a junio.

Tabla 17. Evapotranspiración del cultivo de referencia

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET <sub>o</sub> (mm mes <sup>-1</sup> )	118,2	106	106,6	103,9	109	109,8	121,3	131,5	137,2	130,5	122,7	120,9
ET <sub>o</sub> (mm día <sup>-1</sup> )	3,81	3,79	3,44	3,46	3,52	3,66	<b>3,91</b>	4,24	4,57	4,21	<b>4,09</b>	3,9

Elaborado: Autor

#### Coefficiente del cultivo

El diseño del sistema de riego por goteo está orientado a satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en la etapa de mayor necesidad de agua, el coeficiente del cultivo (*K<sub>c</sub>*) corresponde al máximo valor mensual calculado. Con los datos de la FAO (2006) se estimaron los coeficientes del cultivo de café para diferentes etapas fenológicas como se observa en la Figura 11: 0,90 para agosto y septiembre, 0,91 para Julio y octubre, 0,93 para junio y noviembre, 0,94 para mayo y diciembre, y 0,95 para enero, febrero, marzo y abril (Anexo 7).

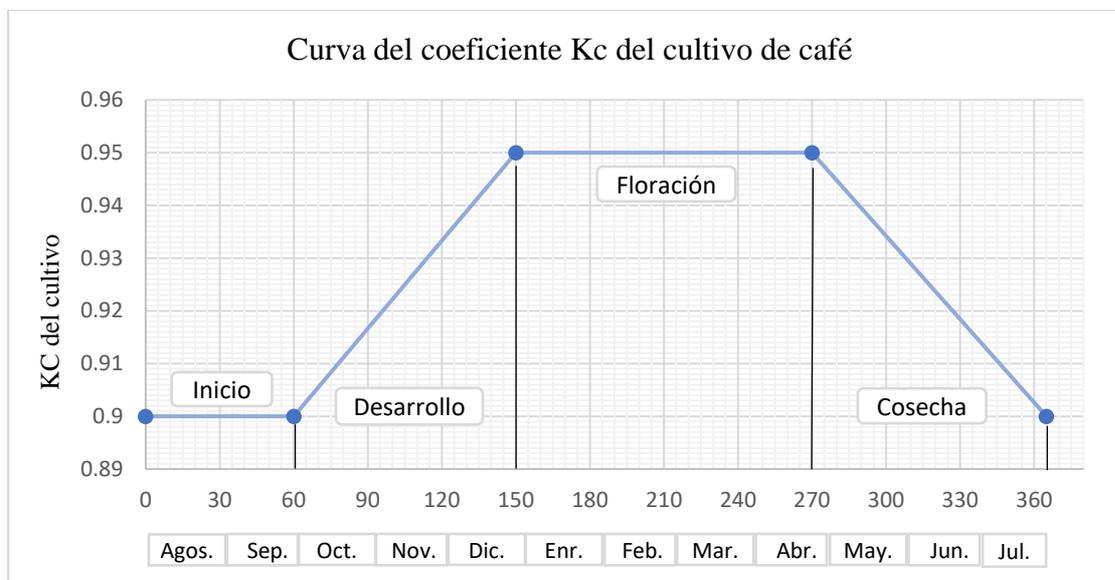


Figura 11. Coeficiente del cultivo de café (kc)

Fuente: Autor

### Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ )

En la Tabla 18 se presenta la evapotranspiración del cultivo de café, en la que se puede observar que el mayor índice de requerimiento hídrico corresponde al mes de septiembre con  $4,11 \text{ mm día}^{-1}$  y menor índice en marzo con  $3,27 \text{ mm día}^{-1}$ .

Tabla 18. Evapotranspiración del cultivo de referencia, coeficiente y evapotranspiración del cultivo.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$ET_o$ ( $\text{mm día}^{-1}$ )	3,81	3,79	3,44	3,46	3,52	3,66	3,91	4,24	4,57	4,21	4,09	3,9
$K_c$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,90	0,91	0,93	0,94
$ET_c$ ( $\text{mm día}^{-1}$ )	3,62	3,60	<b>3,27</b>	3,29	3,31	3,39	3,57	3,82	<b>4,11</b>	3,82	3,78	3,67

Elaborado: Autor

### Precipitación efectiva

Utilizando software CROPWAT 8.0 y con los datos de precipitación media de la estación de Amaluza, la zona de estudio tiene precipitación efectiva máxima de noviembre a abril con valores entre  $71,6$  a  $105,3 \text{ mm mes}^{-1}$  y precipitaciones mínimas de  $47,7$  a  $48,3 \text{ mm mes}^{-1}$  de mayo a octubre como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Precipitación efectiva

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe (mm mes <sup>-1</sup> )	103,1	133,4	143,2	105,3	47,7	9,6	4	3,3	12,4	48,3	71,6	75
Pe (mm día <sup>-1</sup> )	3,33	4,76	4,62	3,51	1,54	0,32	0,13	0,11	0,41	1,56	2,39	2,42

Elaborado: Autor

### Requerimientos de riego del cultivo

Para determinar los requerimientos hídricos del cultivo, se aplicó la metodología descrita anteriormente. Los resultados se presentan en la Tabla 20, donde se puede apreciar que los requerimientos hídricos varían según la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva. De acuerdo con estos datos, los meses de febrero, marzo y abril no necesitan riego, ya que la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo. Por el contrario, el mes con mayor demanda de agua es agosto, con un valor de 3,71 mm día<sup>-1</sup>.

Tabla 20. Evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y requerimientos de riego para el cultivo de café

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETc (mm día <sup>-1</sup> )	3,62	3,6	3,27	3,29	3,31	3,39	3,57	3,82	4,11	3,82	3,78	3,67
Pe (mm día <sup>-1</sup> )	3,33	4,76	4,62	3,51	1,54	0,32	0,13	0,11	0,41	1,56	2,39	2,42
Nr (mm día <sup>-1</sup> )	0,30	-	-	-	1,77	3,07	3,44	<b>3,71</b>	3,70	2,26	1,40	1,26

Elaborado: Autor

### Necesidades brutas y caudal continuo

En la Tabla 21, se presenta los valores de las necesidades brutas de riego resultado del cociente entre el requerimiento de riego (Nr) y eficiencia de aplicación. En los meses de agosto y septiembre las necesidades brutas son más altas con 4,12 mm día<sup>-1</sup> y 4,11 mm día<sup>-1</sup>, en su orden, al igual que el caudal ficticio continuo con 0,48 ls<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ya que referidos meses forman parte de la época de verano.

Tabla 21. Necesidades brutas y caudal continuo ficticio para el cultivo de café

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nr (mm día <sup>-1</sup> )	0,30	-	-	-	1,77	3,07	3,44	3,71	3,70	2,26	1,40	1,26
Eficiencia del sistema (%)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
NB (mm día <sup>-1</sup> )	0,33	-	-	-	1,97	3,41	3,82	4,12	4,11	2,52	1,55	1,40
Caudal ficticio ls <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	0,04	-	-	-	0,23	0,39	0,44	0,48	0,48	0,29	0,18	0,16

Elaborado: Autor

### Necesidades de agua del cultivo de café

En la Tabla 22, se evidencian los valores de las necesidades de agua del cultivo de café, donde las necesidades netas de riego son igual a la evapotranspiración del mes de máxima

demanda, la mayor necesidad hídrica es de 5,42 mm día<sup>-1</sup>, valor considerado en el diseño del sistema de riego.

Tabla 22. Necesidades de agua para el cultivo de café

Descripción	Símbolo	Unidades	Valores
Corrección por efecto de localización	Kl	s u <sup>-1</sup>	0,84
Corrección por condiciones climáticas:			
a.- Coeficiente de variación	Kv	s u <sup>-1</sup>	1,20
b.- Coeficiente de Advección	Ka	s u <sup>-1</sup>	1,06
Evapotranspiración corregida	Etrl	mm día <sup>-1</sup>	4,39
Necesidades netas de riego	Nn	mm día <sup>-1</sup>	4,39
Necesidades totales de riego	Nt	mm día <sup>-1</sup>	5,42
Necesidades diarias por árbol	N <sub>diarias</sub>	l árbol <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	12,19

Elaborado: Autor

### 6.2.1.1. Parámetros de riego

Para determinar los parámetros de riego se seleccionó el gotero que mejor se adaptó a las características del terreno y a las pendientes que presenta el mismo, el diseño de las subunidades de riego se utilizaran goteros auto compensantes de marca Naandanjain, modelo CNL, que evita la acumulación de suciedad y es resistente a los productos químicos usuales, cuyas características se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Características generales del gotero

Parámetros	Valor	Unidad
Marca	Naandanjain	
Ecuación de descarga	Es un gotero auto compensado	
Modelo	Salida tapa cónica CNL	
Caudal	4	lh <sup>-1</sup>
Presión	1 – 4	Bar
Cv	< 4	%

Elaborado: Autor

Se observa en la Tabla 24, parámetros, dosis, frecuencias y tiempos de riego de las dos subunidades, determinados a partir de los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo, los requerimientos de agua del cultivo y el clima del área de estudio. Los valores de los parámetros son similares en las dos subunidades de riego, mientras que, la lámina neta frecuencia y tiempo de riego es mayor en la subunidad 2 con 21,14 mm, 4 días y 158 min, respectivamente. La secuencia de cálculos con las ecuaciones empleadas para el diseño agronómico se las puede revisar en el Anexo 9.

Tabla 24. Parámetros de riego para las dos subunidades de riego

Parámetro	Símbolo	Unidad	Subunidad 1	Subunidad 2
Área mojada por emisor	$A_e$	$m^2$	0,48	0,48
Numero de emisores por planta	$N_e$	U	1,55	1,55
Separación entre emisores	$S_e$	m	0,75	0,75
Superficie mojada real	P	%	43	43
Lamina neta	$L_n$	mm	13,13	21,14
Frecuencia de riego	Fr	día	3	4
Tiempo de riego	t	min	98	158

**Elaborado:** Autor

### 6.2.2. Diseño Hidráulico

El diseño del riego por goteo consta de dos subunidades, mismas que funcionan en tiempos distintos. La subunidad 1 consta de 24 laterales, donde se colocarán 2 210 goteros, dispuestos a 0,75 m de distancia a lo largo del lateral, mientras que, la subunidad 2 está compuesta por 58 laterales, requiriendo 2 180 goteros, dispuestos a 0,75 m; por otro lado, el caudal de diseño para la tubería principal es de  $2,45 \text{ l s}^{-1}$ . En las dos subunidades, las laterales son de polietileno, dispuestas a 1,50 m a lo largo de la tubería secundaria, paralelas a las curvas de nivel. Los resultados correspondientes al diseño hidráulico se presentan en las Tablas 25, 26 y 27 (Cálculo del diseño en el Anexo 10).

#### 6.2.2.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego

En la Tabla 25, se presenta los valores del diseño de la tubería del lateral y secundaria para la subunidad 1 de riego, donde las laterales tienen una longitud de 81,15 m, diámetro nominal de 16 mm, con una presión de trabajo de 0,40 MPa, caudal de  $0,12 \text{ l s}^{-1}$ , velocidad  $0,83 \text{ m s}^{-1}$ , pérdida de carga por fricción de 2,27 mca y presión requerida de 5,65 m, por su parte, la tubería secundaria, tiene una longitud de 37,5 m, diámetro nominal de 50 mm, con un caudal de  $2,45 \text{ l s}^{-1}$ , la velocidad de agua es de  $1,54 \text{ m s}^{-1}$ , presión requerida -2,63 m y la perdida por fricción de 0,72 mca. El resultado negativo de la presión requerida surge por la diferencia de nivel entre el inicio y el fin de la tubería.

Tabla 25. Diseño de la tubería del lateral y secundaria en la subunidad 1

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m <sup>2</sup>	2551,2
Presión del emisor	PN	mca	10
Caudal del emisor	Qe	l h <sup>-1</sup>	4
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	7,22
<b>Lateral de riego</b>			
Longitud	Ll	m	81,15
Caudal	Ql	l s <sup>-1</sup>	0,12
Perdida de carga	Hf	m	2,27
Velocidad del agua	V	m s <sup>-1</sup>	0,83
Presión requerida en la entrada	Po	m	5,65
Presión al final	Pu	m	15,38
<b>Tubería secundaria de Riego</b>			
Longitud	Ll	m	37,5
Caudal	Ql	l s <sup>-1</sup>	2,45
Perdida de carga	Hf	m	0,72
Velocidad del agua	V	m s <sup>-1</sup>	1,54
Presión requerida en la entrada	Po	m	- 2,63

**Elaborado:** Autor

En la subunidad 2, la lateral de riego tiene una longitud de 42,29 m, diámetro nominal de 16 mm, con una presión nominal de 0,40 MPa, caudal de 0,06 l s<sup>-1</sup>, velocidad de 1,52 m s<sup>-1</sup>, pérdida de carga por fricción de 0,34 mca y presión requerida de 9,25, por su parte, la longitud y diámetro nominal de la tubería secundaria fue de 102,82 m, 50 mm respectivamente, con una presión nominal de 1,25 MPa, para un caudal de 2,42 l s<sup>-1</sup>, presión requerida de -12,84 m, produciendo una pérdida de carga de 1,91 mca, con una velocidad de 1,52 m s<sup>-1</sup>. El resultado negativo de la presión requerida surge por la diferencia de nivel entre el inicio y el fin de la tubería. En las Tablas 26 se observa el resumen de los resultados.

Tabla 26. Diseño de la tubería del lateral y secundaria en la subunidad 2

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m <sup>2</sup>	2468,6
Presión del emisor	PN	mca	10
Caudal del emisor	Qe	l h <sup>-1</sup>	4
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	7,22
<b>Lateral de riego</b>			
Longitud	Ll	m	42,29
Caudal	Ql	l s <sup>-1</sup>	0,06
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	7,22
Perdida de carga	Hf	m	0,34
Velocidad del agua	V	m s <sup>-1</sup>	0,50
Presión requerida en la entrada	Ho	m	9,25
Presión al final	Hn	m	10,91
<b>Tubería secundaria de Riego</b>			
Longitud	Ll	m	102,82
Caudal	Ql	l s <sup>-1</sup>	2,42
Perdida de carga	Hf	m	1,91
Velocidad del agua	V	m s <sup>-1</sup>	1,52
Presión requerida en la entrada	Ho	m	- 12,84

**Elaborado:** Autor

### 6.2.2.1. Diseño de la tubería principal

En la Tabla 27 se presenta el diseño de la tubería principal, de material PVC con longitud de 124,81 m, diámetro nominal 50 mm, presión nominal 1,25 MPa, por donde fluye un caudal de 2,42 l s<sup>-1</sup>, con pérdidas de carga de 6,61 mca y una velocidad del agua igual a 1,54 m s<sup>-1</sup> que se encuentran dentro del rango normal. Así mismo, la carga dinámica total del sistema de riego por goteo es de 26, 8 mca.

Tabla 27. Diseño de la tubería principal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud	Ll	m	124.81
Caudal	Ql	l s <sup>-1</sup>	2,45
Perdida de carga	Hf	mca	6,61
Velocidad del agua	V	m s <sup>-1</sup>	1,54
Carga dinámica Total	CDT	mca	26,8

**Elaborado:** Autor

## Costos del sistema de riego

En la Tabla 28 se muestra el presupuesto de materiales y accesorios del sistema de riego por goteo para la finca, el cual tiene un costo de \$ 2 969,41 en 0,50 ha, este valor proyectado para 1ha es de \$ 5 938,82

Tabla 28. Presupuesto del diseño de riego por goteo para un predio de 5 019,76 m<sup>2</sup>

RUBRO	CANT.	U	PRECIO	TOTAL
<b>Cabezal de Riego</b>				
Reductor ER 50 x 32 EC PVC	2	U	0,66	1,32
Codo ER 32 x 90 ° EC PVC	4	U	0,37	1,48
Adaptador ER 32 x 1 m EC PVC EC	1	U	0,41	0,41
Válvula DL 1 compuerta	1	U	9,88	9,88
Universal ER 32 EC PVC	1	U	1,52	1,52
Manómetro EC 0-85 PSI conexión 1463 mm	2	U	4,66	9,32
Filtro FF 1 x 120 MESH tipo	1	U	9,21	9,21
Adaptor ER 32 x 1H EC PVC	1	U	0,31	3,31
Tee ER 32 x 20 RED EC PVC	2	U	0,43	0,86
Válvula ER 20 compacta bola, STD DIN EC	2	U	1,23	2,46
Codo ER 20 x 90 ° EC PVC	2	U	0,15	0,30
Adaptador ER 20 x 1 2 H PVC EC	2	U	0,15	0,30
Ventury GM 20 mm	1	U	20,89	20,89
Válvula ER 32 bola EC 1 universal	1	U	5,74	5,75
Montura ER 32 x 1 2 reforzado anillo PP	2	U	0,84	1,68
Tanque RP 600 l elevado solo tanque	1	U	104,64	104,64
Tubo PVC 20 mm x 2MPa x 6 m EC	1	U	3,32	3,32
Tubo 32 mm x 1,25 MPa x 6 m EC	1	U	5,66	5,66
<b>Tubería Principal</b>				
Tubo PVC 50 mm x 1,25 MPa x 6 m	20	U	13,08	261
Tee ER 50 EC PVC	2	U	1,66	3,33
Adaptador mixto S/R 50 mm PVC	1	U	0,85	0,85
Tapa ER 50 H EC PVC	1	U	0,65	0,65
<b>Tubería Secundaria</b>				
Tubo PVC 50 mm x 1,25 MPa x 6 m	24	U	13,08	314,14
Codo ER 50 x 90 ° EC PVC	1	U	1,42	1,42
Codo ER 50 x 35 ° EC PVC	1	U	0,99	0,99
Válvula ER 50 bola EC 1 universal	2	U	12,24	24,49
Adaptador mixto S/R 50 mm PVC	2	U	0,85	1,7
Tapa ER 50 H EC PVC	2	U	0,65	1,30

<b>RUBRO</b>	<b>CANT.</b>	<b>U</b>	<b>PRECIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Tubería Lateral</b>				
Hidroplas pp 16 mm x 0,40 x (manguera 4000 m)	3292	m	0,17	559,64
Conector GM 16 mm inicial flex	85	U	0,13	11,05
Empaque GM 16 mm caucho	85	U	0,12	10,20
Final GM 16 mm de linea tipo 8	85	U	0,11	9,75
Gotero naandanjain auto compesante 4 l h <sup>-1</sup>	4390	U	0,20	878,00
<b>Accesorios</b>				
Perforador ntf 3mm con mango plástico	1	U	16,44	16,44
Pega TG 602 1 4 galón weld-on ips	1	U	12,18	12,18
Limpia TG C-65 1-galón weld-on ips	1	U	31,22	31,22
Cinta EP industrial 15 m amarilla MV	2	U	0,62	1,25
<b>Varios</b>				
Desbroce y limpieza	0.5	Ha	50,00	50,00
Replanteo y nivelación	0.5	Ha	200	200
Excavación a mano	27	m3	15	405
Costo total				<b>2969,41</b>

**Elaborado:** Autor

**Fuente:** Austro Riego (2023)

## 7. Discusión

### 7.1. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo de un predio del barrio Guarango parroquia Santa Teresita.

#### 7.1.1. Calidad de agua para el riego

La muestra de agua presentó una conductividad eléctrica (CE) de  $0,13 \text{ dS m}^{-1}$ , lo que indica una baja salinidad y un buen nivel de calidad para el riego agrícola. Según Ayers y Westcot (1985); citados Acosta y Salvadori (2017), el agua con una CE menor a  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  no tiene restricciones para su uso en el riego. Por lo tanto, el agua es apta para el cultivo de café.

Los sólidos disueltos totales (SDT) del agua fue de  $80,4 \text{ mg l}^{-1}$ , lo que significa una cantidad relativamente baja de sales inorgánicas y materia orgánica, de acuerdo con Ayers y Westcot (1985); citados en el Manual Nro 47 de la FAO (2007), el agua con un valor de SDT inferior a  $500 \text{ mg l}^{-1}$  no presenta restricciones para el riego localizado.

El pH del agua fue de 7,10, cercano al valor neutro óptimo para el riego. Redondo (2017) afirma que los valores de pH entre 6,0 y 7,5 son los más favorables para los cultivos, ya que facilitan la solubilidad de los nutrientes vegetales.

La relación de adsorción de sodio (RAS) del agua fue de  $1,53 \text{ meq l}^{-1}$ , lo que corresponde a un bajo peligro de sodicidad según la clasificación de la FAO en Acosta y Salvadori (2017). Estos autores señalan que el agua con una RAS menor a  $3 \text{ meq l}^{-1}$  puede usarse en casi todos los suelos sin riesgo de aumentar el nivel de sodio de intercambio, lo que evita efectos negativos en la productividad de los cultivos.

El carbonato de sodio residual del agua fue de  $0,25 \text{ meq l}^{-1}$ , dentro del rango deseado para el riego. Richards (1954); citado por Tartabull Betancourt (2016), indica que el agua con un valor menor a  $1,5 \text{ meq l}^{-1}$  es aceptable para el riego, mientras que valores superiores no son recomendables. Por consiguiente, el agua de la quebrada Del Desmonte es de buena calidad y se puede utilizar para el riego sin problemas.

#### 7.1.2. Descripción de perfiles de suelo

En la descripción de los dos perfiles de suelos, se caracterizan por presentar un horizonte en superficie Ap. En profundidad, el perfil 1 presento horizontes  $B_{t1}$ ,  $B_{t2}$  y C con texturas arcillo limoso a arenosas, el perfil 2, con horizontes  $B_{t1}$ ,  $B_{t2}$  y  $B_w$  que van de texturas francas arcillo limoso a arcillosas, a lo cual Jaramillo (2002) afirma que el horizonte A

generalmente se encuentra en la superficie del terreno, son horizontes minerales con acumulación de materia orgánica y propiedades del resultado de disturbación, por su parte, el horizonte B se desarrolla por debajo del horizonte O, A, E, con enriquecimiento de arcilla, un buen desarrollo de estructura edáfica típicamente en bloques angulares, subangulares y prismática; y, el horizonte C, es poco afectado por procesos pedogenéticos, consolidado que puede ser cavado con facilidad cuando se humedece.

En el perfil 2, el horizonte Bt<sub>2</sub> y B<sub>w</sub> se identificó la presencia de manchas color rojo amarillento, al respecto (CRS, 2020), indica que la presencia de manchas en el perfil del suelo se asocian a problemas de drenaje lo que influye en el crecimiento de las raíces por la falta de oxígeno.

La profundidad efectiva del perfil 1 fue de 55 cm y 130 cm del perfil 2, según Pinto et al. (2004) corresponde a un suelo ligeramente profundo y profundo, respectivamente. Debido a la alta pendiente y por consiguiente un fuerte grado de erosión, el perfil 1 presentó una menor profundidad efectiva, de acuerdo con Sancho y Villatoro (2005), la erosión de los suelos provocan disminución de profundidad efectiva, la capacidad de retención de agua al porcentaje, degradación de la estructura del suelo, entre otros.

### **7.1.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.**

En vista que la diferencia de los valores en los horizontes Ap y Bt de cada perfil del suelo referente a los contenidos de humedad a diferentes tensiones, es pequeña, se obtuvo el promedio de los dos horizontes para cada perfil.

En cuanto al contenido de agua en el suelo, el volumen total de poros del perfil 1 y 2 en estudio a pF=0 es de 50,97% y 53,88%, equitativamente, valores que están dentro del rango de porosidad para suelos de textura fina propuesto por Fitz Patrick (1985) en Domínguez Silva (2005) al expresar que este tipo de suelos se encuentra entre un rango de 40 a 60%, presentando una mayor porosidad que los de textura gruesa; en esta misma tendencia Assan y Gorosito (2018) señalan que los suelos francos arcillosos tienen una porosidad de 47 a 51%, y los suelos arcillosos 51 a 55%.

Una vez que el drenaje del suelo ha terminado, el máximo nivel de humedad que puede retener el suelo o capacidad de campo (CC) es de 32% en el perfil 1 y 41,85% en el perfil 2, al respecto Calderón (2014) menciona que el suelo a CC, el agua queda retenida en los espacios existentes entre las partículas del suelo y en estas condiciones las plantas absorben con mayor

facilidad el agua. El perfil 2 presenta un mayor porcentaje de CC producto de la textura del mismo, es decir, suelos pesados tienen un mayor capacidad de retención de agua, en relación a suelos livianos, esto lo corrobora Flores y Alcalá (2010) al indicar que suelos arcillosos tienen un valor de CC entre 30 a 70 %, y suelos arenoso entre 5 a 16%.

El punto de marchitez permanente (PMP) del perfil 1 es 17,39 % y en la perfil 2 de 22,75 %, valores que se encuentran próximos al propuesto por Datta et al. (2017), al indicar que los suelos arcillosos tienen un valor de 24 %; por su parte Andriani (2009) manifiesta que cuando el suelo está a PMP, la humedad existente en el suelo provoca el marchitamiento de la planta y por más que se aplique agua al suelo no regresa a absorber.

La densidad aparente (Da) del horizonte Ap y Bt del perfil 1 fue de 1,27 y 1,29 g m<sup>-3</sup>, y del perfil 2 de 1,10 y 1,4 g m<sup>-3</sup>, según Cisneros (2003) varía en función de las propiedades de los suelos especialmente con la textura y el contenido de materia orgánica, esto lo corrobora Pritchett (1990, como se citó en Domínguez Silva, 2005), la densidad aparente en suelos francos está entre 1,3 a 1,4 g m<sup>-3</sup> y para suelos arcillosos de 1,0 a 1,2 g m<sup>-3</sup>, es mayor en suelos de textura gruesa debido a que los macroporos son más grandes y ocupan un mayor volumen que los de textura fina; estos últimos, tienen microporos que producen compacidad (Duiker 2002)

De acuerdo al diagrama triangular, los dos primeros horizontes del perfil 1 (Ap y Bt) presento una clase textural franco arcilloso, correspondiente a suelos de textura moderadamente fina, por su parte, el horizonte Ap y Bt del perfil 2, se clasificaron como franco arcilloso y arcilloso, perteneciente a suelos de textura moderadamente fina y fina. Según (Pellegrini, 2019), señala que estos suelos por su tamaño de partículas dificultan el ingreso del agua, aire y raíces, sin embargo, son suelos que retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y su gran capacidad de intercambio catiónico.

#### ***7.1.4. Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo***

Según la Figura 2, la curva característica de humedad del suelo para la subunidad 1 es semejante a la de un suelo de textura franco; se obtuvo de los resultados de las constantes hidrofísicas de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y al estado poroso del suelo, con valores de 32, 17,39 y 50,97 %, equitativamente; por su parte, la curva de la subunidad 2 es semejante a la de un suelo de textura arcilloso; obtenida con valores de los contenidos de humedad de CC = 41,85 % a pF 2,0, PMP = 22,75 % a pF 4,2 y al estado

poroso del suelo de 53,88 %. Iñiguez (2011) indica que los factores que determinan la forma de la curva son: estructura, textura y materia orgánica.

A partir de CC y PMP, se determina que la subunidad 1 y 2 del área de estudio cuenta con 14,61 % y 19,1 % respectivamente, de agua aprovechable (AA), estos datos no difieren significativamente con los expuestos por Valarezo et al. (1998) quien indica un intervalo de 9 a 15 %, siendo beneficioso para el cultivo de café, pues mientras mayor sea el contenido de humedad aprovechable para la planta mejor será su rendimiento; además, según Andriani (2009), el agua aprovechable representa la cantidad de agua fácilmente disponible para ser utilizada por la planta.

Para la subunidad 1, la capacidad de aireación (CA) fue de 18,07 % y para la subunidad 2 de 12,03 %, según el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas (Figura 3) clasificándose como alta y media en su orden. Al respecto, Sellés et al. (2012); Horn y Fleige (2009), plantean como valor óptimo entre el rango del 8 al 15% de macroporos en sistemas frutales para permitir un adecuado movimiento de agua y respiración de raíces, aunque señalan que este depende de la sensibilidad del cultivo y de la conectividad del sistema poroso.

Con los valores promedio de capacidad de aireación 18,97 y 12,03 %, volumen de poros efectivos 14,61 y 19,11%, volumen de poros físicamente inerte 66,42 y 68,87%, de la subunidad 1 y 2, en su orden, y con la ayuda del diagrama triangular de la Figura 3, se evaluó las condiciones físicas del suelo, cuyos resultados se ubican dentro del rango de la Zona III, según Valarezo et al. (1998), corresponde a una situación medio de las condiciones físicas del suelo para el desarrollo de las plantas.

#### ***7.1.5. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.***

Los suelos de la subunidad 1 y 2 presentaron una infiltración básica promedio de 17,3 y 9,8 mm h<sup>-1</sup> en su orden, que, según Cisneros (2003) corresponde a una velocidad de infiltración moderadamente lenta, debido a que los suelos contienen altos contenidos de arcilla y es bajo en materia orgánica, propio de suelos de textura franco arcillosa, esta información es corroborada por la USDA (2006) citado en Zambrano Jiménez (2016), quien sostiene que para infiltraciones de 5 a 20 mm h<sup>-1</sup>, la velocidad de infiltración se considera moderadamente lenta, los suelos con baja infiltración pueden ocasionar escorrentía e inundaciones y pueden saturarse durante las lluvias.

## **7.2. Diseñar un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita.**

### **7.2.1. Diseño agronómico**

### **7.2.2. Necesidades hídricas de los cultivos**

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), estimada para la zona de estudio, presenta un valor máximo de 4,57 mm día<sup>-1</sup> para el mes de septiembre, mientras que la mínima en el mes de marzo con 3,44 mm día<sup>-1</sup>, resultados cercanos a los reportados por Jiménez (2019) quien realizó estudios similares en la zona, reportando como valor máximo 4,1 mm día<sup>-1</sup> y una mínima de 3,7 mm día<sup>-1</sup>, estos valores los obtuvo con el software Cropwat propuesto por FAO (1996). AgroCabildo (2008) afirma que la ET<sub>o</sub> puede variar al verse afectada por los parámetros climáticos.

El valor de K<sub>c</sub> para el cultivo de café con cobertura es 0,95, similar al utilizado por Sarango (2019) de 0,95 en la provincia de Loja específicamente en la parroquia San Pedro de la Bendita, pero menor al de Castillo (2020) quien emplea un K<sub>c</sub> de 1, relacionado con la edad del cultivo y densidad de siembra.

La evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), con menor requerimiento hídrico corresponde al mes de marzo (3,27 mm día<sup>-1</sup>); mientras que, el mayor corresponde a septiembre (4,11 mm día<sup>-1</sup>), el cual sirve de base para el diseño del sistema de riego. Según FAO (2006), la ET<sub>c</sub> es distinta a la evapotranspiración de referencia debido a las características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación, y resistencia aerodinámica difieren con las comparadas al pasto.

El requerimiento de agua máxima por el cultivo de café es 3,71 mm día<sup>-1</sup> para el mes de agosto y el menor de 0,30 mm día<sup>-1</sup> en enero, debido a que la evapotranspiración supera a la precipitación efectiva; sin embargo, en los meses de febrero, marzo y abril, las altas precipitaciones y acumulación de agua superan la evapotranspiración del cultivo, por lo que no se necesita aplicar riego. Ulises (2012) indica que la determinación del requerimiento de agua permite conocer la cantidad de agua que necesita ser suplida al cultivo.

A partir de los requerimientos de riego mensual y la eficiencia de aplicación (90%), se obtuvo la mayor necesidad bruta de riego en el mes de agosto con un valor de 4,12 mm día<sup>-1</sup> y un caudal ficticio continuo de 0,481 s<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, resultados similares a los encontrados por Picoita

(2021) en la provincia de Loja, a condiciones climáticas similares y con igual eficiencia del sistema de riego, registro una necesidad bruta de  $4,09 \text{ mm día}^{-1}$  en y un caudal ficticio continuo de  $0,471 \text{ s}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para el mes de septiembre.

### **7.2.3. Necesidades de agua del cultivo**

A efectos prácticos para las correcciones por efecto de localización (Kl) se consideró la fracción del área sombreada con respecto a la superficie total proyectada de la planta, donde el diámetro de la copa del café es de 1,43 m obteniendo  $A=0,71$ ; a partir de este valor el factor de Kl es de 0,84; según Hernández (2012), este coeficiente corrige la  $ET_c$  disminuyéndola, debido a la reducción del área de riego, producto de la localización del riego con goteros.

En la corrección por condiciones climáticas, se utilizó el criterio de Hernández Abreu con  $K_v=1,2$  debido a que la  $ET_c$  utilizada en el cálculo equivale al valor medio del periodo estudiado y correcciones por adveración de acuerdo al tamaño de la zona y del tipo del cultivo que se va a regar, siendo para una superficie de  $5.200 \text{ m}^2$  el  $K_v = 1,06$ .

Las necesidades netas, totales y diarias por árbol para el cultivo de café obtenido en la parroquia Santa Teresita es de  $4,39 \text{ mm día}^{-1}$ ,  $5,42 \text{ mm día}^{-1}$  y  $12,191 \text{ árbol}^{-1} \text{ día}^{-1}$  en su orden, estos valores son menores con los obtenidos por Quintos y Santos (2020) los cuales en investigación del diseño de riego por goteo del cultivo de café en Perú (Lambayeque), reportaron necesidades de  $5,36 \text{ mm día}^{-1}$ ,  $6,61 \text{ mm día}^{-1}$  y  $9,51 \text{ mm día}^{-1}$ , esto se explicaría por las distintas condiciones climáticas de cada lugar; valores similares de necesidades netas  $5,79 \text{ mm día}^{-1}$ , totales  $7,34 \text{ mm día}^{-1}$  y diarias por árbol  $10,271 \text{ árbol}^{-1} \text{ día}^{-1}$  se obtienen en Colombia específicamente en la Venta de Cajibío por Sanchez (2020). Con ello se demuestra que la altitud influye de manera significativa en las necesidades del cultivo de café.

### **7.2.4. Parámetros de riego**

Para determinar el área mojada por emisor se consideró el valor del diámetro húmedo de acuerdo a la textura siendo de 0,78 m y el área mojada por emisor de  $0,48 \text{ m}^2$ .

La separación de los emisores es 0,75 m, con la separación de emisores se obtiene la superficie mojada por cada emisor con un valor de  $1 \text{ m}^2$ , al respecto Fernández (2011) menciona que con separaciones de goteros entre 0,6 a 0,8 m estos mojan alrededor del 80 % de la superficie sombreada, por lo que estas distancias son idóneas, pues garantizan la eficiente aplicación de agua hacia el cultivo.

Las necesidades totales de la planta son  $5,4 \text{ mm día}^{-1}$  equivalente a  $12,11 \text{ planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$  y el número de emisores para satisfacer estas necesidades es 2 u, con caudal de  $4 \text{ l h}^{-1}$ .

Con el número de emisores (2 u), área mojada ( $0,48 \text{ m}^2$ ) y densidad de siembra ( $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ ) se obtuvo un nuevo porcentaje de suelo mojado de 43 %, al respecto Calvache (2013) indica que el porcentaje ideal debe ser mayor al 33 % sin alejarse excesivamente de este, valor que coincide con lo sugerido por el autor, de esta manera existe un adecuado desarrollo radicular de la planta; además, significa que el espaciamiento del emisor y número de emisores es óptimo para el cultivo.

La lamina edáfica obtenido en el predio del barrio Guarango para el cultivo de café es de 13,13 mm en la subunidad 1 y 21,14 mm para la subunidad 2, valores que no difieren significativamente con el obtenido por Inoñan (2015) al reportar que la lámina para el cultivo es de 18,61 mm; por su parte Picoita (2021) menciona que la lámina edáfica para el café es 3,8 mm, lo cual difiere con lo obtenido en Guarango, esto debido a las constantes hidrofísicas y físicas del suelo de cada lugar.

Considerando que el método de riego es de alta frecuencia, el aporte de agua para satisfacer las demandas hídricas del cultivo de café en la subunidad 1 y 2 debe ser cada 3 y 4 días, valor que está dentro del rango expresado por Fernando et al., (2010) las frecuencias de riego por goteo oscilan desde varios riegos en un mismo día hasta intervalos de 3 a 4 días; por lo tanto, la frecuencia de riego en la subunidad 1 es menor a la subunidad 2, debido a que a que la textura del suelo en la primera unidad es más gruesa en relación a la segunda, por consiguiente este tipo de suelos tienen una menor capacidad de almacenar agua aprovechable.

#### **7.2.5. Diseño hidráulico**

Por las características topográficas que presenta el terreno destinado para la implementación del cultivo de café, se determinó que se utilicen emisores auto compensantes con un rango de regulación de presión entre 5 – 40 mca, rango donde el fabricante garantiza una descarga nominal de 1,3; 2; 3; 4; 8 y  $12 \text{ l h}^{-1}$ , utilizado para el diseño 10 mca de variación de presión y  $4 \text{ l h}^{-1}$  de caudal. Monge (2018), expresa que en cultivos arbóreos es muy común utilizar goteros entre 3 a  $8 \text{ l h}^{-1}$  debido a que estos cultivos necesitan una mayor extensión de volumen de suelo humedecido.

Las pérdidas por fricción de las tuberías principal, secundaria, lateral y accesorios se determinaron en función del caudal, diámetro interno de las tuberías y el coeficiente de fricción, el mismo que para tubería PE es 140 y PVC 150.

La pérdida de presión admisible en las dos subunidades de riego fue de 7,22 m, valor mayor a las pérdidas de presión del lateral y secundaria de la subunidad 1 (2,99 m) y subunidad 2 (2,25 m). Según Monge (2018) la pérdida de carga admisible debe ser mayor a las pérdidas de carga producidas por el rozamiento del agua y exclusivamente por el diámetro de las conducciones y su caudal; de esta manera se puede evidenciar que se cumple la condición de diseño.

En el diseño de las tuberías los valores de las velocidades fueron: tubería principal  $1,54 \text{ m s}^{-1}$ , secundarias  $1,54$  y  $1,52 \text{ m s}^{-1}$  y laterales de  $0,83$  y  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ , estos valores coinciden con los rangos sugeridos por Monge (2018), en tuberías principales y secundarias de  $0,5$  a  $2,5 \text{ m s}^{-1}$ , para laterales de  $0,5$  a  $2 \text{ m s}^{-1}$ , al respecto INEH (2013) expresa que las velocidades superiores a  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  ocasiona problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes inferiores, afectando la vida útil de las tuberías; mientras que, velocidades inferiores a  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  podrían ocasionar problemas de sedimentación en el interior de las conducciones.

La presión requerida a la entrada de las dos subunidades del cultivo de café es de 26,8 mca; con lo cual se cubre las pérdidas de carga en el lateral, secundaria, equipo de filtrado, accesorios y la presión mínima de funcionamiento de los goteros seleccionados; mientras que en el cabezal de control se dispone de 66 mca siendo esta la energía disponible para abastecer al sistema.

## 8. Conclusiones

- El suelo de la subunidad 1 tienen una textura franco arcillosa, con propiedades hidrofísicas promedio: AA de 14,61 %; CA de 18,97 %; mientras que, en la subunidad 2 presenta una textura arcillosa, cuyas propiedades hidrofísicas promedio, muestran valores de AA de 19,11 %; CA de 12,03%, que los clasifican como suelos de clase medio; no obstante, presta las condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos de ciclo perenne, particularmente café.
- El agua de la quebrada del Desmonte, al presentar rangos aceptables de los parámetros químicos (salinidad, pH, alcalinidad, RAS, CSR) y físicos (sólidos disueltos totales) para riego, se concluye que el agua de la finca tiene las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo, sin causar daños al suelo, así como también garantiza el correcto funcionamiento del sistema de riego.
- Para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo de café en su etapa más crítica, se eligió un gotero auto compensado, marca Naandanjain, modelo CN, para regar con una frecuencia de 3 días con un tiempo de riego de 98 min en la subunidad 1 y con frecuencia de riego de 4 días durante 158 min en la subunidad 2; suministrando una lámina de 13,13 mm día<sup>-1</sup> (subunidad 1) y 21,14 mm día<sup>-1</sup> (subunidad 2).
- En el diseño hidráulico, las pérdidas de carga por fricción y las velocidades de agua en la red de tuberías de las dos subunidades de riego, cumplen con los parámetros establecidos para el correcto funcionamiento del sistema.

## **9. Recomendaciones**

- Para superar los problemas de compactación y mejorar la estructura, humedad y aireación del suelo, se recomienda aplicar abonos orgánicos, materia orgánica, minerales, siembra de cultivos que ocupen gran superficie del suelo, entre otros.
- De acuerdo a las normas de construcción de obras de riego, la tubería de red hídrica deberá ir enterrada a un mínimo de 0,8 m de profundidad, para evitar daños por el labrado del suelo y agentes atmosféricos, como el sol.
- Se recomienda que este estudio se complemente con la instalación y la evaluación de los coeficientes de uniformidad como son la de distribución y eficiencia de aplicación.
- De implementarse el sistema de riego por goteo en el predio es importante instruir a cada uno de los operadores de campo, de tal forma que se haga un correcto uso de los componentes del sistema de riego, garantizando el buen funcionamiento del sistema y con ello la satisfacción hídrica del cultivo.

## 10. Bibliografía

- Acosta-García, J. C., & Salvadori-Verón, J. A. (2017). *Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados* [Universidad Nacional de La Pampa]. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1376>
- AgroCabildo. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith*. <https://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Ahmad, S. y Ajaz, A. (2013). *Design and operations manual pressurized irrigation systems*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/326379761>
- Andriani, J. M. (2009a). *Constantes hídricas de los principales suelos agrícolas del sur de Santa Fe*. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-4-constantas-hdricas-principales-suelos-agrcolas-sur-.pdf>
- Andriani, J. M. (2009b). *Constantes hídricas de los principales suelos agrícolas del sur de Santa Fe*. <https://inta.gob.ar/documentos/constantas-hidricas-de-los-principales-suelos-agricolas-del-sur-de-santa-fe>
- Angella, G., & Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*.
- Arango-Tobón, J. C. (2002). *Aspectos fundamentales de los sistemas de riego*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8231>
- Assan, M. M., & Gorosito, S. M. (2018). *Relación agua suelo planta (1)*. FCA UNCA. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>
- Ayor-Loaiza, A. A., & Carpio-Paute, Á. R. (2015). *Determinación del rendimiento hídrico en cuatro ecosistemas de la región sur del Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/11298>
- Batres, C. A., & Barahona-Palomo, M. (2016). *Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador*. *UNED Research Journal*, 9, 12.

- Bejar-Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Luna Robles, E. O., Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). *Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Briceño, M., Álvares, F., & Barahona, U. (2012). *Manual de Riego y Drenaje* (Primera). Escuela Agrícola Panamericana. [https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_5\\_Manual\\_de\\_Riego\\_y\\_Drenaje..pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_5_Manual_de_Riego_y_Drenaje..pdf)
- Calderón Baños, S. P. (2014). *Evaluación del recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3242/1/T-UCE-0004-100.pdf>
- Calderón-Baños, S. P. (2014). *Evaluación del recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3242>
- Calvache-Ulloa, A. (2013). *Riego Andino Tecnificado* (Primera). Universitaria. [https://www.researchgate.net/profile/Angel-Calvache-Ulloa/publication/337484474\\_RIEGO\\_ANDINO\\_TECNIFICADO\\_PARA\\_FERTIRRIEGO/links/5ddb307d92851c1fedaf59e9/RIEGO-ANDINO-TECNIFICADO-PARA-FERTIRRIEGO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Angel-Calvache-Ulloa/publication/337484474_RIEGO_ANDINO_TECNIFICADO_PARA_FERTIRRIEGO/links/5ddb307d92851c1fedaf59e9/RIEGO-ANDINO-TECNIFICADO-PARA-FERTIRRIEGO.pdf)
- Calvache-Ulloa, A. (2002, septiembre 26). *Manejo del Agua: Principios Fundamentales*.
- Casanova-Olivo, E. F. C. (1996). *Introducción a la ciencia del suelo* (Primera).
- Castillo-Vega, 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*. [BachelorThesis, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/23314>
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje*. <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- Cisneros Zayas, E., González Robaina, F., Martínez Varona, R., López Seijas, T., & Rey García, Á. R. (2015). *Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua-rendimiento. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 5-11.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2071-00542015000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542015000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego* (Segunda). Ecuador. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>

Cortés-Jiménez, J. M., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., Garatuza-Payán, J., & Suh-Lee, S. (2009). *Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui, Sonora. Terra Latinoamericana*, 27(2), 133-141. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792009000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

CRS. (2020). *Evaluación visual del suelo para café. Asa.Crs.Org*, 1-20.

Datta, S., Taghvaeian, S., y Stivers, J. (2017). Understanding soil water content and thresholds for irrigation management. <https://www.researchgate.net/publication/317501722>

Díaz-Tandazo, F. O. (2018). *Intervalo hídrico óptimo en suelos alfisol, inceptisol y entisol con cultivo de banano en los cantones Santa Rosa y Machala*. [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13258>

Domínguez Silva, M. J. (2005a). *Evaluación de la calidad de los suelos de laderas de Nandaime, a través de la identificación y uso de indicadores técnicos locales* [Engineer, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/1056/>

Domínguez Silva, M. J. (2005b). 79.

Duicela-Guambi, L. A. D., Corral-Castillo, G. R., & Chilán-Villafuerte, W. P. (2015). Selección de "cabezas de clon" en café robusta (*Coffea canephora*) en el trópico seco, Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 7(1), Article 1.

Duiker, W. (2005). *Efectos de la compactación del suelo*. <https://extension.psu.edu/effects-of-soil-compaction>

Escobar-Molina, M. C. (2017). *Selección de cultivares promisorios de café *coffea arabica* l. basado en resistencia a roya del café *hemileia vastatrix* berk. & br. in vitro y en condiciones de campo en zonas cafetaleras de Guatemala c.a.* [Universidad de San Carlos

de Guatemala].

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/6890/1/EscobarMolinaMyriamConsuelo.pdf>

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.

FAO 47. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*.  
<https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>

FAO 56. (2006). *Evapotranspiración del cultivo* (p. 322). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

FAO 68, N. W., & Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s00.htm>

Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Fuentes-Yague, L. (1998). *Curso de Riego para Regantes* (Segunda). Ediciones Mundi-Prensa.

Gallegos-Díaz, C. P. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Paltas, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN\\_PEDRO\\_GALLEGOS\\_D%c3%8dAZ.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN_PEDRO_GALLEGOS_D%c3%8dAZ.pdf)

Gómez, J. C. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/2785>

Guamán Zhingre, M. A. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (zea mays) en el predio agrícola "El Almendro" del barrio la vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja* [BachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/23904>

- Guillermo-León, M. S. (2011). *Edafología* 1.  
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). *Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*.  
<https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Horn, R., and R. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil and Tillage Research*, 102(2): 201-208.
- IICA. (2019). *Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana*.  
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>
- INEC. (2020). *Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria*.  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Modulo\\_Ambiental\\_ESPAC\\_2019/DOC\\_TEC\\_MOD\\_AGROAMB\\_2019\\_11.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_ESPAC_2019/DOC_TEC_MOD_AGROAMB_2019_11.pdf)
- INEH. (2013). *Chapter 7 Microirrigation*.  
<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=34517.wba>
- Inoñan-Alfaro, P. N. (2015). *Diseño de un Sistema de riego por goteo para el cultivo de café en el sector Quebradonda - Catache - Santya Cruz - Cajamarca* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/103>
- INTA. (2011). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.  
<https://inta.gob.ar/documentos/propiedades-fisicas-de-los-suelos>
- INTA. (2016). *Para Mejorar la Producción* 55. <https://inta.gob.ar/documentos/revista-para-mejorar-la-produccion-2016>
- Iñiguez, M. (2011). *Suelos, teoría y práctica*.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jiménez-Cumbicus, A. R. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersion utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/22595>
- Jiménez-Cumbicus, R. A. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersion utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [BachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/22595>
- Liotta, M. (2015). Riego por goteo. En *Manual de capacitación: Riego por goteo* (Primera, p. 15). [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4528/INTA\\_EEASanJuan\\_Liotta\\_Riego\\_por\\_goteo.pdf?sequence=1](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4528/INTA_EEASanJuan_Liotta_Riego_por_goteo.pdf?sequence=1)
- Liotta, M. A., Carrión, R. A., Ciancaglini, N., & Olguin-Pringles, A. (2015). *Riego por goteo* [Info:ar-repo/semantics/libro]. PROSAP; INTA. <http://repositorio.inta.gob.ar:80/handle/20.500.12123/4528>
- López Pérez, M. A. (2016). *Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífugas para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. [BachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Lopez, R., Abreu, H., Regalado, P., & Hernandez, G. (1997). *Riego Localizado* (Segunda). Ediciones Mundi-Prensa.
- Manual de Riego para Agricultores Módulo 4: Riego Localizado*. (2010). [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO\\_BAJA.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf)
- Martínez, J. (2014). *Introducción al riego* (Primera). Universidad Politécnica de Valencia.
- Mendoza-Martínez, A. E. (2013). *Riego por Goteo*. [https://www.academia.edu/7433003/Riego\\_por\\_Goteo\\_2013](https://www.academia.edu/7433003/Riego_por_Goteo_2013)
- MINAGRI. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima, Perú.
- Moliner, A., & Masaguer, A. (1996). *Calidad de aguas para uso agrícola y efecto de la agricultura sobre la calidad del agua* (pp. 59-75).

- Monge-Redondo, M. Á. (2018). *Diseño Agronómico e hidráulico de riego agrícolas a presión* (Primera). Agrícola Española, S. A.
- Pellegrini, A. (2019). *Tema 3: "Textura y color del suelo"*. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod\_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf
- Picoita-Guerrero, D. A. (2021). *Diseño de un sistema de riego por goteo en el cultivo de café (Coffea arábica L.) en el centro binacional de formación técnica Zapotepamba – Paltas* [BachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/24377>
- Pinto, M. C., Elizondo, W. V., Leighton, W. L., & Guerrero, O. S. (2004). *Guía de clases prácticas*. [https://www.grn.cl/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20\\_2004.pdf](https://www.grn.cl/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20_2004.pdf)
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (rlaf) goteo, microaspersión, exudación* (Tercera). Ediciones Mundi-Prensa.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Teresita-PDyOT-Santa Teresita.* (2019). [http://santateresita.gob.ec/images/cuentas2019/PDyOT\\_2019-2023.pdf](http://santateresita.gob.ec/images/cuentas2019/PDyOT_2019-2023.pdf)
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja-PDOT-Loja.* (2019).
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Espíndola-PDOT-Espíndola.* (2014). [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000670001\\_PDOT%20del%20cant%C3%B3n%20Esp%C3%ADndola%202014%202019\\_15-03-2015\\_19-16-16.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000670001_PDOT%20del%20cant%C3%B3n%20Esp%C3%ADndola%202014%202019_15-03-2015_19-16-16.pdf)
- Pozo-Cañas, M. A. (2014). *Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011.* [Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6848/7.36.001425.pdf?sequence=4>

- Quintos-García, E. R., & Santos-Farceque, P. (2020). *Diseño de un sistema de riego por goteo del cultivo de café, Chiñama – Cañarís* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9114>
- Redondo, M. A. M. (2017, abril 24). *Interpretación de un análisis de agua para riego* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>
- Reinders, F., Grové, B., & Benadé, N. (2012). *A Manual for Irrigation Designers* (Vol. 2). <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20525-12.pdf>
- Renovables Del Este. (2018). *TDS: Qué importancia tiene y Cómo medirlo | Renovables Del Este*. <https://renovablesdeleste.com/tds-que-importancia-tiene-y-como-medirlo/>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004a). *Propiedades físicas del suelo*. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004b). *Propiedades físicas del suelo*. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- Saltos-Salazar, D. A. (2011). *El agua de riego y su incidencia en la producción agrícola de un terreno en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1595>
- Sanchez-Bayo, M. (2020). *Diseño de un sistema de fertirrigación para 1ha de Coffea arabica variedad Caturro en La Venta de Cajibío, Cauca, Colombia* (east=-76.5501018; north=2.5889366; name=La Venta de Cajibío, Cauca, Colombia) [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/66154/>
- Sancho, F., & Villatoro Sánchez, M. (2005). *Efecto de la posición en la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes ústicos de Costa Rica*. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/13782>

- Sandoval, J., & Vargas, E. (1989). *Selección de Métodos de Riego*.  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/26911/NR14479.pdf?sequence=1>
- Santiago-Rodríguez, S., Arteaga-Ramírez, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes-Osornio, R., & Navarro Bravo, A. (2012). *Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1535-1549. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342012000800005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342012000800005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Sarango-Calva, A. D. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo en la finca Shaguindo de la parroquia San Pedro de la Bendita*. [BachelorThesis, Universidad Nacional de Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/22691>
- Sellés, G., R. Ferreyra, R. Ruz, R. Ferreyra, y R. Ahumada. 2012. Compactación de suelos y su control: Estudio de casos en el valle de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA 234.
- Silva C, P., Silva R, H., Garrido S, M., & Acevedo H., E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. 86.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*.  
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Soto Collaguazo, R. D. (2022). *Evaluación de las propiedades físicas de los suelos en el sistema de riego aguarongo-zañe de la parroquia Chuquiribamba* [BachelorThesis, Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/24670>
- Swistock, B. (2021). *Interpretación de los análisis del agua de riego*. Penn State Extension.  
<https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>
- 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. (2005). El riego por aspersión. [https://ruralcat.gencat.cat/migracio\\_resources/633281\\_tarjuelo.pdf](https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf)
- Tartabull-Puñales, T., & Betancourt-Aguilar, C. (2016). *La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), Article 1. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75>
- TECNICAS DE RIEGO. (2003). Ediciones Mundi-Prensa.
- USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*.
- Valarezo, C., Iñiguez, M., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador*.
- Valarezo-Manosalvas, L. V., Valarezo-Manosalvas, C., & MancinO-Valdivieso, M. (2020). *Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del piso temperado andino del sur del Ecuador Caso Sistema de Riego Santiago* (Primera). EDILOJA Cía. Ltda. <https://unl.edu.ec/investigacion/produccion-cientifica/produccion-agropecuaria-sostenible-en-suelos-arcillosos-del>
- Valverde-Conejo, J. (1998). *Riego y Drenaje* (Primera). Universidad Estatal a Distancia.
- Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C., & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la ingeniería de riegos* (Primera). <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>
- Veenhuizen-FAO, R. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en américa latina*. <https://www.fao.org/3/ai128s/ai128s00.pdf>
- Zambrano-Jimenez, W. A. (2016). "evaluación de la incidencia del carbón vegetal, cal y nutrientes minerales sobre las condiciones físicas del suelo; en un área reforestada con melina (*gmelina arbórea roxb*), en el barrio la victoria, parroquia de Zamora, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe". [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17822/1/TESIS%20WILLIAN%20ALFONSO%20ZAMBRANO%20JIMENEZ.pdf>

Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El riego en el Ecuador: Problemática, debate y políticas.*

<https://hal.inrae.fr/hal-02833506>

## 11. Anexos

### Anexo 1.

#### Determinación del caudal y presión

Valores aforados en la zona de estudio

Volumen (l)	Tiempo (s)	Cálculo
70	19,22	$Q = \frac{v}{t_{promedio}}$
70	19,06	
70	18,36	$Q = \frac{70l}{18,88s}$
Promedio	18,88	$Q = 3,7 \text{ l s}^{-1}$

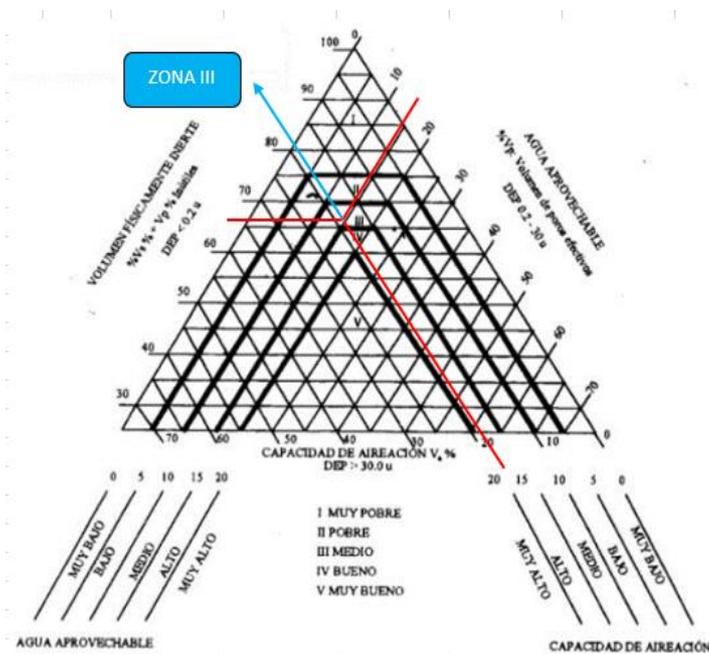
Valores de presión

Repetición	Presión (PSI)
r1	96
r2	90
r3	94
r4	96
r5	94
r6	90
r7	92
r8	96
r9	100
r10	92
<b>Promedio</b>	<b>94</b>

### Anexo 2.

Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo

#### Determinación para la primera unidad de riego



**Volumen total de poros (VTP)**

VTP = pF 0 (saturación = porosidad)

VTP = 50,97 %

**Capacidad de aireación (CA)**

CA= Saturación – CC

CA = (50,97 – 32) %

CA = 18,97 %

**Volumen total de sólidos (VTS)**

VTS = 100 % – Saturación (macroporos + microporos)

VTS = 100 % – VTP

VTS = (100 – 50,97) %

VTS = 49,03 %, volumen ocupado por las partículas del suelo.

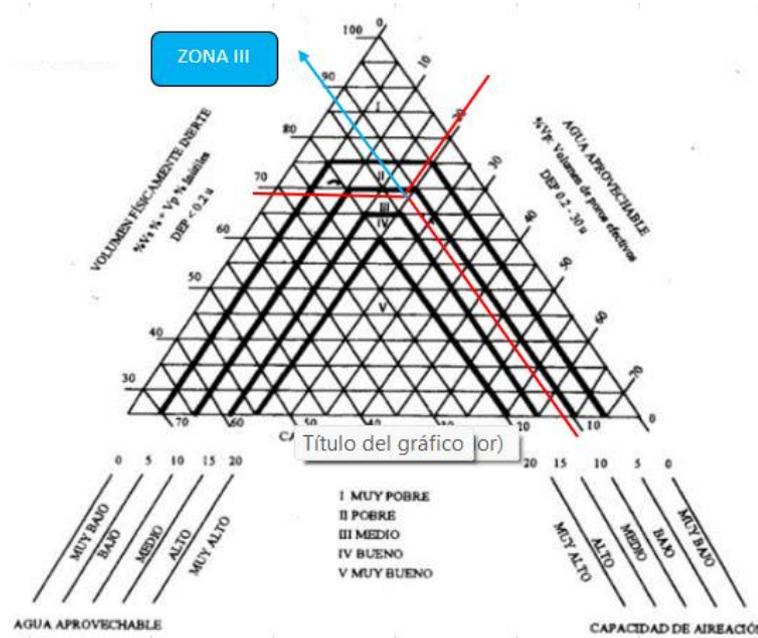
**Volumen físicamente inerte (VFI)**

VFI = [100 – (VTP – PMP)]

VFI = [100 – (50,97 – 17,39)] %

VFI = 66,42 %

**Determinación para la segunda unidad de riego**



**Volumen total de poros (VTP)**

VTP = pF 0 (saturación = porosidad)

VTP = 53,88 %

**Capacidad de aireación (CA)**

CA= Saturación – CC (Capacidad de campo)

CA = (53,88 – 41,85) %

CA = 12,03 %

**Volumen total de sólidos (VTS)**

VTS = 100 % – Saturación (macroporos + microporos)

VTS = 100 % – VTP

VTS = (100 – 53,88) %

VTS = 46,13 %, volumen ocupado por las partículas del suelo.

**Volumen físicamente inerte (VFI)**

VFI = [100 – (VTP – PMP)]

VFI = [100 – (53,88 – 22,75)] %

VFI = 68,87 %

### Anexo 3.

Valores de velocidad de infiltración básica (VIB) de agua en el suelo

#### Subunidad 1

Tempo Acumulado (min)	Repetición 1 Lamina acumulada (cm)	Repetición 2 Lamina acumulada (cm)	Repetición 3 Lamina acumulada (cm)	Promedio Lamina acumulada (cm)
5	6,8	7,1	6,5	6,8
10	9,3	10,1	9,8	9,7
15	10,9	11,9	11,2	11,3
20	12,0	12,8	12,6	12,5
25	12,8	14,0	14,2	13,7
30	13,7	14,5	15,5	14,6
35	14,6	15,1	16,2	15,3
40	15,2	15,7	16,8	15,9
45	15,6	16,1	17,3	16,3
50	16,0	16,4	17,8	16,7
55	16,5	16,7	18,1	17,1
60	16,8	17,0	18,4	17,4
70	17,7	17,7	19,1	18,2
80	18,4	18,3	19,7	18,8
90	18,9	19,0	20,2	19,4
100	19,4	19,7	20,6	19,9
110	19,9	20,3	21,0	20,4
120	20,3	20,9	21,4	20,9
135	20,8	22,0	22,1	21,6
150	21,4	22,8	22,7	22,3
165	21,8	23,4	23,3	22,8
180	22,2	23,9	23,8	23,3
210	23,2	24,9	25,0	24,4
240	24,1	26,0	26,1	25,4
300	25,8	28,1	28,6	27,5

## Subunidad 2

<b>Tiempo Acumulado (min)</b>	<b>Repetición 1 Lamina acumulada (cm)</b>	<b>Repetición 2 Lamina acumulada (cm)</b>	<b>Repetición 3 Lamina acumulada (cm)</b>	<b>Promedio Lamina acumulada (cm)</b>
5	6,8	7,1	6,5	6,8
10	9,3	10,1	9,8	9,7
15	10,9	11,9	11,2	11,3
20	12,0	12,8	12,6	12,5
25	12,8	14,0	14,2	13,7
30	13,7	14,5	15,5	14,6
35	14,6	15,1	16,2	15,3
40	15,2	15,7	16,8	15,9
45	15,6	16,1	17,3	16,3
50	16,0	16,4	17,8	16,7
55	16,5	16,7	18,1	17,1
60	16,8	17,0	18,4	17,4
70	17,7	17,7	19,1	18,2
80	18,4	18,3	19,7	18,8
90	18,9	19,0	20,2	19,4
100	19,4	19,7	20,6	19,9
110	19,9	20,3	21,0	20,4
120	20,3	20,9	21,4	20,9
135	20,8	22,0	22,1	21,6
150	21,4	22,8	22,7	22,3
165	21,8	23,4	23,3	22,8
180	22,2	23,9	23,8	23,3
210	23,2	24,9	25,0	24,4
240	24,1	26,0	26,1	25,4
300	25,8	28,1	28,6	27,5

## Anexo 4.

### Análisis del laboratorio de suelos Agrocalidad de los primeros horizontes

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL RÍO Y ZOOSENIARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-F001</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 5</b>  <b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SFA-E22-0458  
 Fecha emisión Informe: 06/05/2022

#### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Jandry Moreno  
**Dirección<sup>1</sup>:** Juan José Peña y 10 de Agosto  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja  
**Teléfono<sup>1</sup>:** 0997295283  
**Correo Electrónico<sup>2</sup>:** jandry.moreno@unl.edu.ec  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2022-181  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1321

#### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> ----	
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b> X: ----
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Espíndola	Y: ----
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> Santa Teresita	<b>Altitud:</b> ----
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Jandry Moreno Cruz	
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 16-04-2022	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 22-04-2022
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 22-04-2022	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 06-05-2022

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-0530	Calicata 1 H2	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	33,47
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	31,57
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	17,16
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,41

Analizado por: Edison Vega, Luis Cacuango

#### Observaciones:

- Informe revisado por: Luis Cacuango
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



**Q. A. Luis Cacuango**  
 Responsable de Laboratorio  
 Suelos, Foliars y Aguas

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.  
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 5</b>  <b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SFA-E22-0459  
 Fecha emisión Informe: 06/05/2022

**DATOS DEL CLIENTE**

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Jandri Moreno  
**Dirección<sup>1</sup>:** Juan José Peña y 10 de Agosto  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja  
**Teléfono<sup>1</sup>:** 0997295283  
**Correo Electrónico<sup>1</sup>:** jandry.moreno@unl.edu.ec  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2022-181  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1321

**DATOS DE LA MUESTRA:**

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> ----		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> ----
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Espíndola		<b>Y:</b> ----
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> Santa Teresita		<b>Altitud:</b> ----
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Jandri Moreno Cruz		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 16-04-2022	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 22-04-2022	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 22-04-2022	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 06-05-2022	

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-0531	Calicata 1 H3	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	34,46
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	32,43
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	17,62
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,80

**Analizado por:** Edison Vega, Luis Cacuango

**Observaciones:**

- Informe revisado por: Luis Cacuango
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



**Q. A. Luis Cacuango**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliar y Aguas**

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.

Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 5</b>  <b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SFA-E22-0460  
 Fecha emisión Informe: 06/05/2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>: Jandri Moreno

Dirección<sup>1</sup>: Juan José Peña y 10 de Agosto

Provincia<sup>1</sup>: Loja

Cantón<sup>1</sup>: Loja

Teléfono<sup>1</sup>: 0997295283

Correo Electrónico<sup>1</sup>: jandry.moreno@unl.edu.ec

N° Orden de Trabajo: 11-2022-181

N° Factura/Documento: 012-001-1321

#### DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra <sup>1</sup> : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo <sup>1</sup> : ----		
Provincia <sup>1</sup> : Loja	Coordenadas <sup>1</sup> :	X: ----
Cantón <sup>1</sup> : Espíndola		Y: ----
Parroquia <sup>1</sup> : Santa Teresita		Altitud: ----
Muestreado por <sup>1</sup> : Jandri Moreno Cruz		
Fecha de muestreo <sup>1</sup> : 16-04-2022	Fecha de inicio de análisis: 22-04-2022	
Fecha de recepción de la muestra: 22-04-2022	Fecha de finalización de análisis: 06-05-2022	

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-0532	Calicata 2 H2	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	40,18
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	37,38
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	20,31
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	17,06

Analizado por: Edison Vega, Luis Cacuango

#### Observaciones:

- Informe revisado por: Luis Cacuango
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



**Q. A. Luis Cacuango**  
 Responsable de Laboratorio  
 Suelos, Foliare y Aguas

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SFA-E22-0461  
 Fecha emisión Informe: 06/05/2022

#### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Jandri Moreno  
**Dirección<sup>1</sup>:** Juan José Peña y 10 de Agosto  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja  
**Teléfono<sup>1</sup>:** 0997295283  
**Correo Electrónico<sup>1</sup>:** jandry.moreno@unl.edu.ec  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2022-181  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1321

#### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> ----		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> ----
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Espíndola		<b>Y:</b> ----
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> Santa Teresita		<b>Altitud:</b> ----
<b>Muestreado por<sup>1</sup>:</b> Jandri Moreno Cruz		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 16-04-2022	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 22-04-2022	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 22-04-2022	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 06-05-2022	

#### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-0533	Calicata 2 H3	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	50,52
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	46,32
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	25,18
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	21,15

**Analizado por:** Edison Vega, Luis Cacuango

#### Observaciones:

- Informe revisado por: Luis Cacuango
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



**Q. A. Luis Cacuango**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliar y Aguas**

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

## Anexo 5.

### Resultado del análisis del agua



## CENTRO DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIOS Y SERVICIOS ANALÍTICOS.

LABORATORIOS DE AGUAS, SUELOS Y ALIMENTOS.

#### 1. INFORMACIÓN GENERAL:

# DE ORDEN: CIESSA - ONEA Test Lab - 23 - 273	SOLICITANTE: Jandry Fernando Moreno Cruz
PROYECTO: Diseño de un Sistema de Riego, para Cultivo de café (Coffea arábica) barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja.	DIRECCIÓN: Av. Universitaria y 10 de Agosto
	TELÉFONO MÓVIL: 0997295283

#### 2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:

FECHA DE MUESTREO: 01 - 02 - 2023	MUESTRA: Agua de la Quebrada Del Desmonte
FECHA DE INGRESO: 01 - 02 - 2023	PRESENTACIÓN: Envase plástico-Estéril. CODIGO: QDD-1
FECHA DE ANÁLISIS: 01 - 02 - 2023	CANTÓN: Espíndola BARRIO: Guarango
FECHA DE ENTREGA: 01 - 02 - 2023	PARROQUIA: Santa Teresita PROVINCIA: Loja

#### 3. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO:

##### 3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Conductividad Eléctrica	mmhos/cm	0,13	-	3,00	AOAC 973.40	TULSMA
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	80,4	-	2 000	AOAC 920.193	TULSMA
Materia Flotante	VISIBLE	Ausencia	-	Ausencia	TULAS	TULSMA

##### 3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Potencial Hidrógeno	pH	7,10	6,0	9,0	AOAC 973.41	TULSMA
Amonio-Nitrógeno	mg/l	0,14	-	5	NESSLER	BID
Nitrato-Nitrógeno	mg/l	2,64	-	10	REDUCCIÓNDECADMIO	BID
Nitrógeno Total	mg/l	2,78	-	40	REDUCCIÓNDECADMIO	BID
Fosfato-Fosforo	mg/l	0,17	-	2	ÁCIDO ASCÓRBICO	BID
Carbonatos	meq/l	0,00	-	0,1	M S P - AWWA	BID
Bicarbonatos	meq/l	0,74	-	8,50	M S P - AWWA	TULSMA
Cloruros	meq/l	1,08	-	10	DE MOHR	TULSMA
Sodio	meq/l	1,08	-	9	ARGENTOMÉTRICO	TULSMA
Potasio	mg/l	13,4	-	2	ARGENTOMÉTRICO	BID
Calcio	meq/l	0,90	-	20	AWWA - ETAS	BID
Magnesio	meq/l	0,09	-	5	AWWA - ETAS	BID
Manganeso Total	mg/l	0,00	-	0,2	AWWA	TULSMA
Hierro	mg/l	0,09	-	5,0	1,10-PHENANTHROLINE	TULSMA
Níquel	mg/l	0,00	-	0,2	1-(2-Pyridylazo)2-Naphthol	TULAS
Cadmio	mg/l	0,00	-	0,01	Dithizone	TULAS
Boro Total	mg/l	0,01	-	3,0	Carmin	TULSMA
Transparencia de las Agua	m (visual)	Visible	-	2,00	Disco Secchi	TULSMA
R A S	meq/l	1,53	-	9	M S P	TULSMA

#### 4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS:

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,48E+02	-	1 000	APHA 9221 B	TULSMA

\*Criterios de Calidad Admisibles para Aguas de Uso Agrícola o de Riego\*; correspondiente a la Tabla 6 y 7, de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI - Anexo 1. Bajo el amparo del RUSA PCCA.

#### NOMENCLATURA REFERENCIAL DE TERMINOLOGÍA:

- N M P (Número más probable de bacterias por 100 mililitros)
- R A S (Relación de Adsorción de Sodio)
- pH (Acidez o Basicidad)



Edgar A. Ojeda Noriega, INGENIERO

ONEA Test Lab  
HIDRO SANITARIO

Av. Manuel Agustín Aguirre # 11-13 e/ Mercadillo y Azuay // La Pradera: Cedros # 274-23 e/ Alisos y Laureles // Teléfonos: (07)2-102 707-589 913  
Telefax: (07)2-102 707 / 589 913 // Móvil: 0991549877 M - 0979704733 C // E-mail: [aguosysuelos1@gmail.com](mailto:aguosysuelos1@gmail.com) - [ciessa1@hotmail.com](mailto:ciessa1@hotmail.com)

## Anexo 6.

*Evapotranspiración de referencia, según el método de Hargreaves*

mes	°c Temperatura Media Mensual	TMF Temper M. Mensual	HR% Humedad Relativa	CH Fact de Correc H°	CE Factor de Correc de Altitud	MF Factor Mensual de Evapot	ETo (mm/mes ) Evapot Potenc	Eto (mm/dia ) Evapot Potenc
Ene.	18.2 °C	64.78 °F	80.1 %	0.741	1.033	2.403	119.2 mm/mes	3.8 mm/dia
Feb.	18.4 °C	65.05 °F	80.6 %	0.731	1.033	2.182	107.3 mm/mes	3.8 mm/dia
Mar.	18.5 °C	65.26 °F	79.7 %	0.747	1.033	2.141	107.9 mm/mes	3.5 mm/dia
Abr.	18.5 °C	65.38 °F	80.9 %	0.725	1.033	2.141	104.9 mm/mes	3.5 mm/dia
May.	18.8 °C	65.76 °F	77.0 %	0.796	1.033	2.032	110.0 mm/mes	3.5 mm/dia
Jun.	19.1 °C	66.31 °F	75.7 %	0.818	1.033	1.974	110.7 mm/mes	3.7 mm/dia
Jul.	19.1 °C	66.42 °F	74.4 %	0.839	1.033	2.128	122.6 mm/mes	4.0 mm/dia
Ago.	19.3 °C	66.77 °F	73.2 %	0.860	1.033	2.236	132.7 mm/mes	4.3 mm/dia
Set.	19.1 °C	66.44 °F	74.5 %	0.838	1.033	2.406	138.4 mm/mes	4.6 mm/dia
Oct.	18.9 °C	66.06 °F	76.7 %	0.802	1.033	2.406	131.7 mm/mes	4.2 mm/dia
Nov.	18.8 °C	65.78 °F	77.9 %	0.780	1.033	2.334	123.7 mm/mes	4.1 mm/dia
Dic.	18.7 °C	65.59 °F	79.4 %	0.753	1.033	2.392	122.1 mm/mes	3.9 mm/dia

## Anexo 7.

Datos de las fases fenológicas y Kc para el cultivo de café según FAO (2006)

Fases de desarrollo	Duración (Días)	Kc
Inicio	60	0,9
Desarrollo	90	0,95
Floración	120	0,95
Cosecha	95	0,90

## Anexo 8.

Características del gotero seleccionado

**NAANDANJAIN**  
JAIN IRRIGATION COMPANY

GOTEROS AUTOCOMPENSANTES (PC) DE BOTÓN  
**ClickTif HD**



**APLICACIONES**

- Invernaderos, viveros, huertos, viñedos, aplicaciones paisajísticas y parcelas de jardinería
- Riego por pulsos y riego en condiciones sin suelo
- Evite el exceso de drenaje en lugares bajos (modelo CNL)

**ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS**

- Goteros y accesorios para trabajo intenso en diversas configuraciones
- Cuatro elementos en el diseño del gotero minimizan el taponamiento:
  1. Entrada de agua protegida
  2. Mecanismo de lavado del diafragma de regulación
  3. Fuerte flujo turbulento en laberinto permite limpieza y lavados continuos
  4. Grandes pasos de agua
- Codificado por color para la identificación de descarga y modelo
- Conector estándar cónico de 5 mm para trabajar con conectores rápidos o salida con conexión dentada para tubo de 3/5
- Resistente a los productos químicos usuales, fabricado con materiales plásticos de alto grado de calidad para lograr una mayor precisión y durabilidad
- Dos modelos disponibles: PC y CNL (Antidrenante)
- Diseño único CNL de "borde afilado" que evita la acumulación de suciedad y asegura una operación segura confiable bajo condiciones difíciles
- 6 caudales diferentes

**Gotero de Botón para trabajo intenso Autocompensante (PC) y Antidrenante (CNL)**

Salida tapa cónica



PC CNL PC CNL

Salida conexión dentada 3/5



PC CNL

1.3 l/h

2.0 l/h

3.0 l/h

4.0 l/h

8.0 l/h

12.0 l/h

**DATOS TÉCNICOS**

- Descarga nominal: 1.3, 2.0, 3.0, 4.0, 8.0, 12.0 l/h
- Rango de regulación de presión: 0.5 – 4.0 bar
- Muy bajo CV
- Presión mínima recomendada: 1,0 bar
- Antidrenante (CNL): Presión de apertura: 8.0 m  
Presión de cierre: 3.0 m
- Recomendación de filtración: 130 micras (120 mesh)



© NAANDANJAIN LUS 03/2020

## **Anexo 9.**

*Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo*

### Corrección por efecto de localización (Kl)

Se consideró la fracción de la superficie del suelo sombreada con respecto a la superficie total proyectada de la planta, donde el diámetro de la copa del café es 1,43 m.

$$A = \frac{\pi D m^2}{4 (a * b)}$$

$$A = \frac{3.1416 \times (1,43)^2}{4 (1,50 * 1,50)}$$

$$A = 0,71$$

Al valor de A calculado se lo reemplaza en las siguientes fórmulas:

$$\text{Aljibury} \Rightarrow Kl = 1,34 A \quad Kl = 0,96$$

$$\text{Decroix} \Rightarrow Kl = 0,1 + A \quad Kl = \mathbf{0,81}$$

$$\text{Hoare} \Rightarrow Kl = A + 0,5(1 - A) \quad Kl = \mathbf{0,86}$$

$$\text{Keller} \Rightarrow Kl = A + 0,15(1 - A) \quad Kl = 0,76$$

De estos valores se promedia los medios dando como resultado un Kl de 0,84.

### Correcciones por condiciones locales

La corrección por variación climática, debido a que la ETo equivale al valor medio del mes estudiado debe multiplicarse con un coeficiente de mayoración, se utilizó el criterio de Hernández Abreu con un  $Kv = 1,20$ ; y por advección, de acuerdo al tamaño de la zona que se va a regar siendo así para una superficie de 5000 m<sup>2</sup> un  $Kv = 1,06$

Las necesidades de agua para la planta son:

$$Etrl = ETc * Kl * Kv * Ka$$

$$Etrl = 4,11 * 0,84 * 1,20 * 1,06$$

$$Etrl = 4,39 \text{ mm día}^{-1}$$

### Necesidades netas de riego (Nn)

$$Nn = Etrl$$

$$Nn = 4,39 \text{ mm día}^{-1}$$

Necesidades totales de riego (Nt)

$$K = 1 - ef. \text{ aplicacion}$$

$$K = 1 - 0,9$$

$$K = 1 - 0,10$$

$$Nt = \frac{Nn}{Cu(1 - K)}$$

$$Nt = \frac{4,39 \text{ mm día}^{-1}}{0,9(1 - 0,1)}$$

$$Nt = 5,42 \text{ mm día}^{-1}$$

Necesidades diarias por árbol

$$N_{diarias} = Nt * a * b$$

$$N_{diarias} = 5,42 \text{ mm día}^{-1} * 1,50 \text{ m} * 1,50 \text{ m}$$

$$N_{diarias} = 12,19 \text{ l planta día}^{-1}$$

Área mojada por emisor

$$Ae = \frac{\pi Ds^2}{4}$$

$$Ae = \frac{3,1416 * (0,78)^2}{4}$$

$$Ae = 0,48 \text{ m}^2$$

Número de emisores por planta.

$$n_e \geq \frac{Sp * P}{100 * Ae}$$

$$n_e \geq \frac{2,25 * 20\%}{100 * 0,48 \text{ m}^2}$$

$$n_e = 1,17$$

Separación entre emisores

- Separación máxima

$$Se = Rm(2 - \frac{s}{100})$$

$$Se = 0,42(2 - \frac{30}{100})$$

$$Se = 0,71$$

- Separación mínima

$$Se = 0,42(2 - \frac{15}{100})$$

$$Se = 0,78$$

- Separación promedio

$$Se_{promedio} = \frac{0,71 + 0,78}{2}$$

$$Se_{promedio} = 0,75$$

#### Porcentaje de superficie mojada real

$$P = \frac{Ne * 100 * Ae}{Sp}$$

$$P = \frac{2 * 100 * 0,48}{2,25}$$

$$P = 43\%$$

#### Lamina neta

- Subunidad 1 de reigo

$$Ln = 10\ 000 * \left( \frac{CC - PMP}{100} * Z * Da \right) DPM$$

$$Ln = 10\ 000 * \left( \frac{31,57 - 17,16}{100} * 0,11 * 1,27 + \frac{32,43 - 17,62}{100} * 0,25 * 1,29 \right) 0,45$$

$$Ln = 305,52 \text{ t m}^{-3}$$

$$Ln = 30,55 \text{ mm}$$

En vista que, en el riego por goteo toda el área del suelo no se moja como en el riego de superficie o aspersión, es importante corregir la lámina. Se corrigió multiplicando la lámina neta (Ln) por el porcentaje de suelo mojado (%), siendo así:

$$Ln = 30,55 \text{ mm} * \%P$$

$$Ln = 30,55 \text{ mm} * 0,43$$

$$Ln = 13,13 \text{ mm}$$

- Subunidad 2 de riego

$$Ln = 10\ 000 * \left( \frac{CC - PMP}{100} * Z * Da \right) DPM$$

$$Ln = 10\ 000 * \left( \frac{37,38 - 20,31}{100} * 0,12 * 1,10 + \frac{46,32 - 25,18}{100} * 0,36 * 1,14 \right) 0,45$$

$$Ln = 491,81 \text{ t m}^{-3}$$

$$Ln = 49,18 \text{ mm}$$

$$Ln = 49,18 \text{ mm} * 0,43$$

$$Ln = 21,14 \text{ mm}$$

#### Frecuencia de riego (I):

- Subunidad 1 de riego

$$Fr = \frac{Ln}{Nt}$$

$$Fr = \frac{13,13 \text{ mm}}{5,42 \text{ mm día}^{-1}}$$

$$Fr = 2,42 \text{ dias} = 3 \text{ dias}$$

- Subunidad 2 de riego

$$Fr = \frac{21,14 \text{ mm}}{5,42 \text{ mm día}^{-1}}$$

$$Fr = 3,89 \text{ dias} = 4 \text{ dia}$$

#### Tiempo de riego

- Subunidad 1 de riego

$$t = \frac{Nt * Fr}{n_e * Qa}$$

$$t = \frac{5,42 \text{ mm día}^{-1} * 2,42 \text{ dias}}{2u * 4 \text{ l h}^{-1}}$$

$$t = 1,63 \text{ horas} = 1 \text{ hora } 38 \text{ min}$$

- Subunidad 2 de riego

$$t = \frac{5,42 \text{ mm día}^{-1} * 3,89 \text{ días}}{2u * 4 \text{ l h}^{-1}}$$

$$t = 2,64 \text{ horas} = 2 \text{ horas } 38 \text{ min}$$

## **Anexo 10.**

*Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo*

### Perdida de carga máxima admisible

$$h \text{ máx.} = \frac{0.1 * p}{x}$$

$$h \text{ máx.} = \frac{0.1 * 10}{0,1386}$$

$$h \text{ máx.} = 7,22 \text{ m}$$

### Características de las laterales en la subunidad 1

<b>LATERALES DE RIEGO</b>	
Material	PE
Longitud	81,15 m
Caudal	0,12 l s <sup>-1</sup>
Coefficiente de rugosidad	140
Diámetro interno	13,6 mm
Área	0,00015 m <sup>2</sup>
Presión de tubería	0,40 MPa

### Caudal de la tubería lateral

$$Ql = Qe * Ngl$$

$$Ql = 4 \text{ l h}^{-1} * 108$$

$$Ql = 432 \text{ l h}^{-1} = 0,12 \text{ l h}^{-1}$$

### Perdidas de carga por fricción en la lateral de riego

$$J = 1.21 * 10^{10} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 1.21 * 10^{10} \left( \frac{0,120 \text{ l h}^{-1}}{140} \right)^{1.852} * (13,6 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,076 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{2n}{(2n - 1)} * \left( \frac{1}{B + 1} \right) + \left( \frac{(B - 1)^{1/2}}{6n^2} \right)$$

$$F = \left( \frac{2 * 54}{(2 * 54) + 1} \right) * \left( \frac{1}{1,75 + 1} \right) + \left( \frac{(1,75 - 1)^{1/2}}{6 * 54^2} \right)$$

$$F = 0,37$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,076 \text{ m m}^{-1} * 81,17 \text{ m} * 0,37$$

$$\mathbf{hf = 2,16 \text{ m}}$$

- Velocidad permisible de flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,000120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,000145 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,83 \text{ m s}^{-1}$$

#### Presión a la entrada del lateral

$$Po = PN + 0,73 * hfl - \frac{\Delta z}{2}$$

$$Po = 10 \text{ m} + 0,73 * 2,26 \text{ m} - \frac{12}{2} \text{ m}$$

$$Po = 5,65 \text{ m}$$

#### Presión al final del lateral

$$Po = PN - 0,27 * hfl + \frac{\Delta z}{2}$$

$$Po = 10 \text{ m} - 0,27 * 2,26 \text{ m} + \frac{12}{2} \text{ m}$$

$$Po = 15,38 \text{ m}$$

## Características de las laterales en la subunidad 2

LATERALES DE RIEGO	
Material	PE
Longitud	42,29 m
Caudal	0,062 l s <sup>-1</sup>
Coefficiente de rugosidad	140
Diámetro interno	13,6 mm
Área	0,00015 m <sup>2</sup>
Presión de tubería	0,40 MPa

### Caudal de la tubería lateral

$$Ql = Qe * Ngl$$

$$Ql = 4 \text{ l h}^{-1} * 56$$

$$Ql = 224 \text{ l h}^{-1} = 0,06 \text{ l s}^{-1}$$

### Perdidas de carga por fricción en la lateral de riego

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{0,062 \text{ l s}^{-1}}{140}\right)^{1.852} * (13.6 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,023 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{2n}{(2n - 1)} * \left(\frac{1}{B + 1}\right) + \left(\frac{(B - 1)^{1/2}}{6n^2}\right)$$

$$F = \left(\frac{2 * 54}{(2 * 54) + 1}\right) * \left(\frac{1}{1.75 + 1}\right) + \left(\frac{(1.75 - 1)^{1/2}}{6 * 54^2}\right)$$

$$F = 0.37$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,023 \text{ m m}^{-1} * 42,29 \text{ m} * 0,37$$

$$hf = 0,35 \text{ m}$$

- Velocidad permisible de flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00006 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,00015 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,50 \text{ m s}^{-1}$$

Presión a la entrada del lateral

$$P_o = P_N + 0,73 * h_{fl} - \frac{\Delta z}{2}$$

$$P_o = 10 \text{ m} + 0,73 * 0,34 \text{ m} - \frac{2}{2} \text{ m}$$

$$P_o = 9,25 \text{ m}$$

Presión al final del lateral

$$P_o = P_N - 0,27 * h_{fl} + \frac{\Delta z}{2}$$

$$P_o = 10 \text{ m} - 0,27 * 0,34 \text{ m} + \frac{2}{2} \text{ m}$$

$$P_o = 10,91 \text{ m}$$

Características de la tubería secundaria en la subunidad 1

<b>TUBERÍA SECUNDARIA</b>	
Material	PVC
Longitud	37,5 m
Caudal	2,45 l s <sup>-1</sup>
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	45 mm
Área	0.0016 m <sup>2</sup>
Presión de tubería	1.25 MPa

Caudal de la tubería secundaria

$$Q_s = Q_e * N_{e_{total}}$$

$$Q_s = 4 \text{ l h}^{-1} * 2210$$

$$Q_s = 8840 \text{ l h}^{-1} = 2,45 \text{ l s}^{-1}$$

Perdidas de carga por fricción en la tubería secundaria de riego

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 1.21 * 10^{10} \left( \frac{2.454 \text{ l s}^{-1}}{150} \right)^{1.852} * (45 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,053 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{2n}{(2n - 1)} * \left( \frac{1}{B + 1} \right) + \left( \frac{(B - 1)^{1/2}}{6n^2} \right)$$

$$F = \left( \frac{2 * 24}{(2 * 24) + 1} \right) * \left( \frac{1}{1.8 + 1} \right) + \left( \frac{(1.8 - 1)^{1/2}}{6 * 24^2} \right)$$

$$F = 0.36$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,053 \text{ m m}^{-1} * 37,55 \text{ m} * 0,36$$

$$\mathbf{hf = 0,724 \text{ m}}$$

- Velocidad permisible de flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00245 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,00159 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,54 \text{ m s}^{-1}$$

#### Presión en la entrada de la tubería secundaria

$$P_o = P + hfl - \Delta z$$

$$P_o = 5,65 + 0,72 - 9$$

$$P_o = - 2.63 \text{ m}$$

#### Características de la tubería secundaria en la subunidad 2

<b>TUBERÍA SECUNDARIA</b>	
Material	PVC
Longitud	102,82 m
Caudal	2,42 l s <sup>-1</sup>
Coefficiente de rugosidad	140
Diámetro interno	45 mm
Área	0.0017 m <sup>2</sup>
Presión de tubería	1.25 MPa

### Caudal de la tubería secundaria

$$Q_s = Q_e * N_{e_{total}}$$

$$Q_s = 4 \text{ l h}^{-1} * 2180$$

$$Q_s = 8720 \text{ l h}^{-1} = 2,42 \text{ l s}^{-1}$$

### Perdidas de carga por fricción en la tubería secundaria de riego (unidad2)

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{2,423 \text{ l s}^{-1}}{150}\right)^{1.852} * (46 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,052 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{2n}{(2n-1)} * \left(\frac{1}{B+1}\right) + \left(\frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}\right)$$

$$F = \left(\frac{2 * 58}{(2 * 58) + 1}\right) * \left(\frac{1}{1.8 + 1}\right) + \left(\frac{(1.8 - 1)^{1/2}}{6 * 58^2}\right)$$

$$F = 0,36$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,052 \text{ m m}^{-1} * 102,82 \text{ m} * 0,36$$

$$\mathbf{hf = 1.915 m}$$

- Velocidad permisible de flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00242 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,00159 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,52 \text{ m s}^{-1}$$

### Presión en la entrada de la tubería secundaria

$$P_o = P + h * hfl - \Delta z$$

$$P_o = 9,25 + 1,91 - 24$$

$$P_o = - 12,84$$

### Características de la tubería principal

TUBERÍA PRINCIPAL	
Material	PVC
Longitud	124,81 m
Caudal	2,45 l s <sup>-1</sup>
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	45 mm
Área	0.0016 m <sup>2</sup>
Presión de tubería	1.25 Mpa

### Caudal de la principal

$$Qp = Qs * Nl$$

$$Qp = 2,45 \text{ l s}^{-1} * 1$$

$$Qp = 2,45 \text{ l s}^{-1}$$

### Perdidas de carga por fricción en la tubería principal de riego

$$J = 1.21 * 10^{10} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 1.21 * 10^{10} \left( \frac{2,45 \text{ l s}^{-1}}{140} \right)^{1.852} * (45 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,053 \text{ m/m}$$

$$hf = J * l$$

$$hf = 0,053 \text{ m m}^{-1} * 124,81$$

$$\mathbf{hf = 6,61 m}$$

- Velocidad permisible de flujo

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,0025 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,0016 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,54 \text{ m s}^{-1}$$

### Carga Dinámica Total

$$CDT = Po + hf_{lt_{s1}} + hf_{lt_{s2}} + hf_l + hf_{l_{filtro}} + hf_{l_{acc}}$$

$$CDT = 10 + 2,99 + 2,25 + 6,61 + 3 + 2$$

$CDT = 26,8 \text{ mca}$

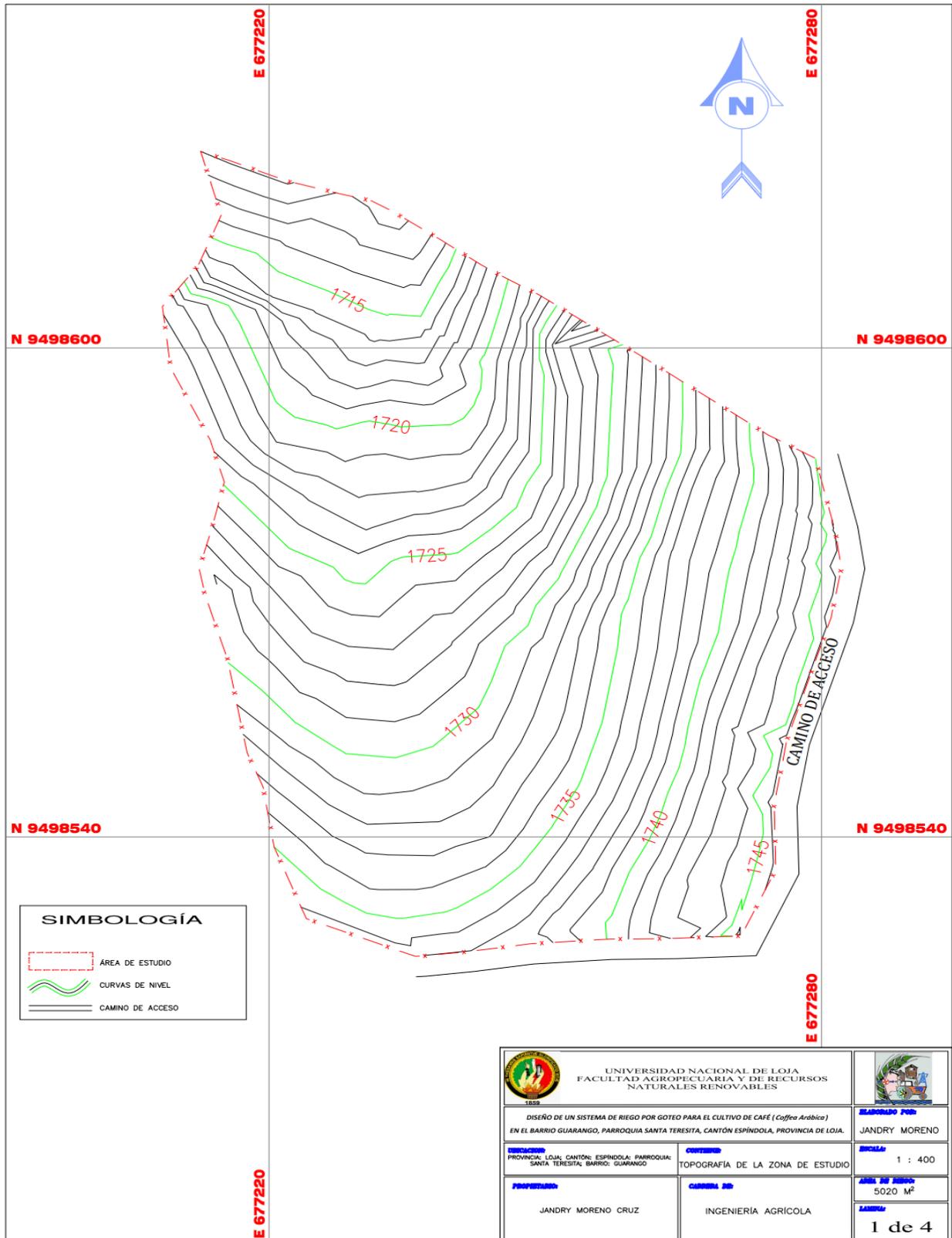
**Anexo 11.**

*Respaldo fotográfico*



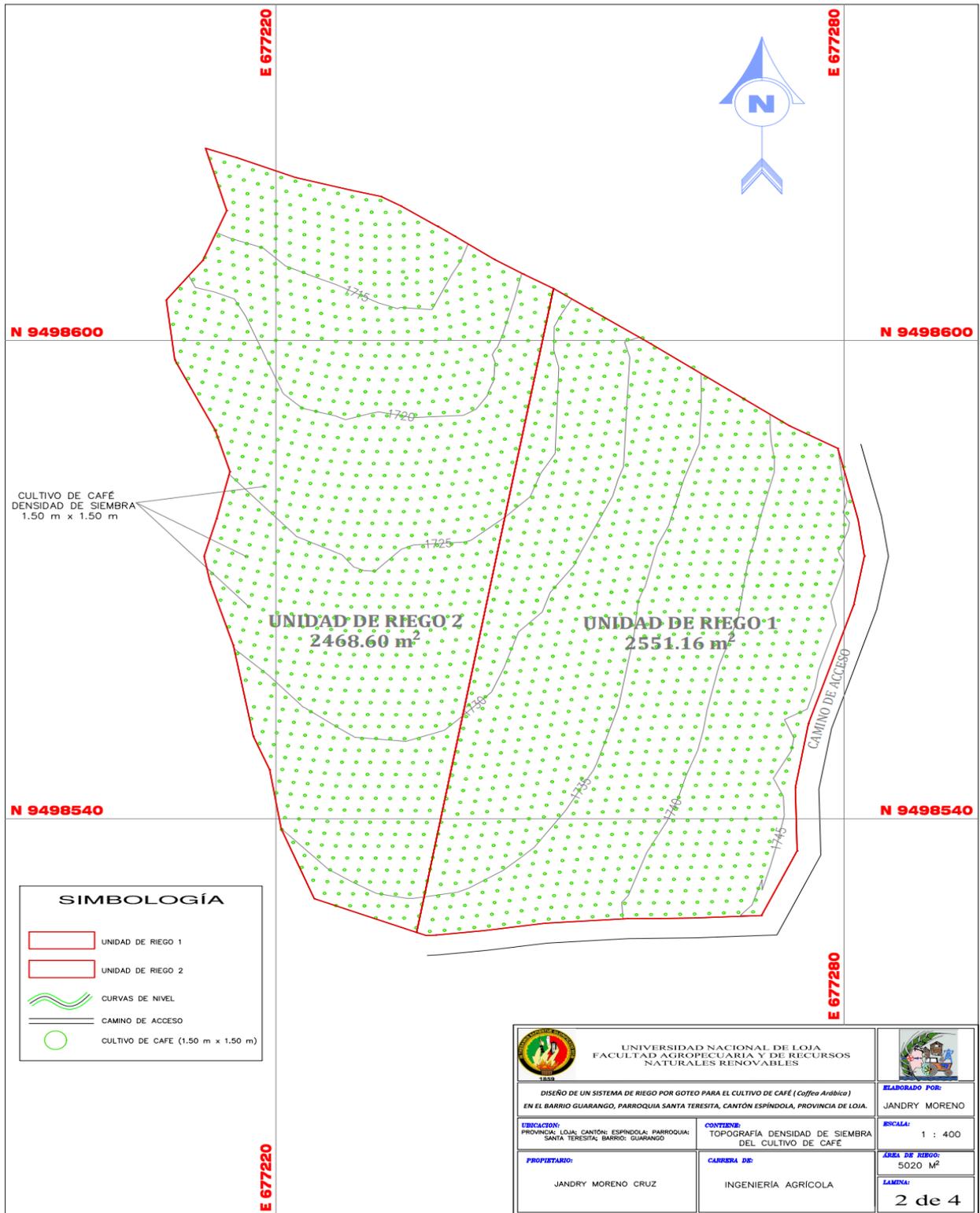
## Anexo 12.

### Plano topográfico de la zona de estudio



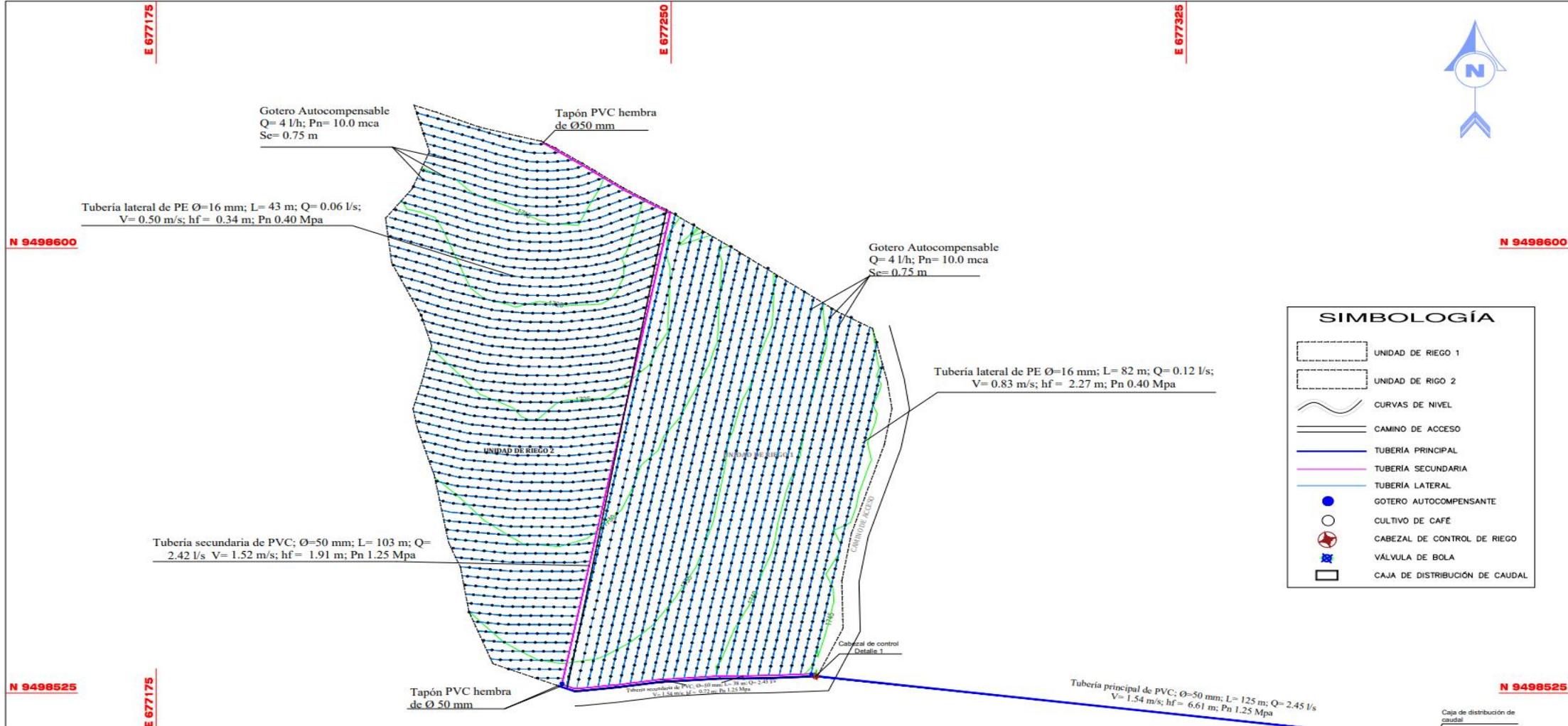
### Anexo 13.

#### Plano topográfico y densidad de siembra del cultivo de café



# Anexo 14.

## Plano del diseño del sistema de riego por goteo



SIMBOLOGÍA	
	UNIDAD DE RIEGO 1
	UNIDAD DE RIEGO 2
	CURVAS DE NIVEL
	CAMINO DE ACCESO
	TUBERIA PRINCIPAL
	TUBERIA SECUNDARIA
	TUBERIA LATERAL
	GOTERO AUTOCOMPENSANTE
	CULTIVO DE CAFE
	CABEZAL DE CONTROL DE RIEGO
	VÁLVULA DE BOLA
	CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL

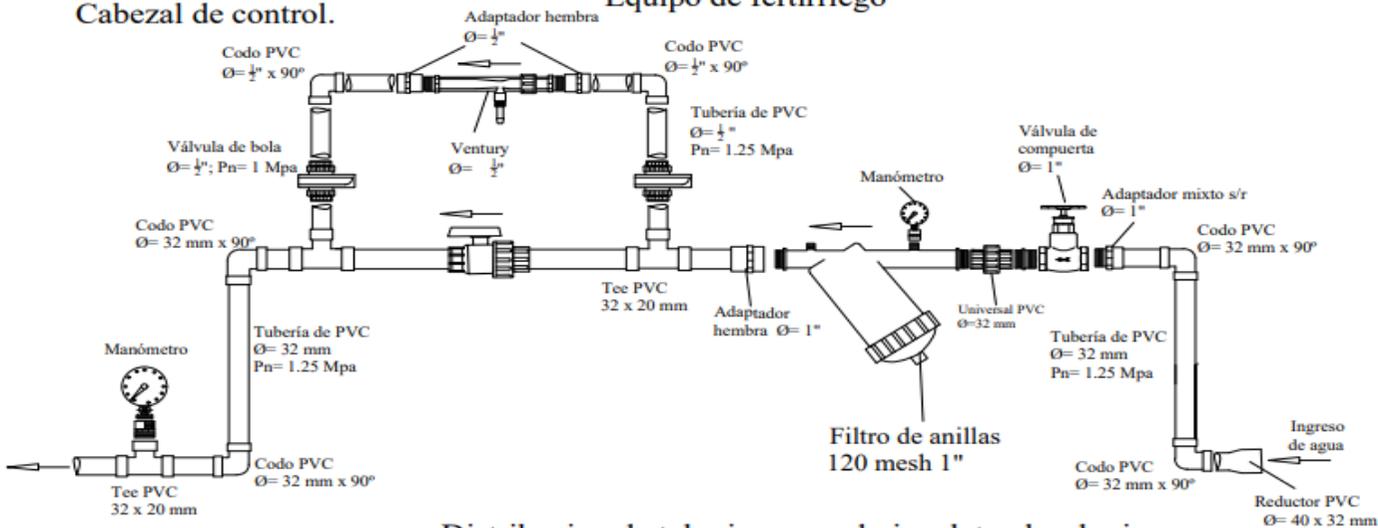
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</p>			
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE CAFE ( <i>Coffea Arabica</i> ) EN EL BARRIO GUARANGO, PARROQUIA SANTA TERESITA, CANTÓN ESPÍNDOLA, PROVINCIA DE LOJA.		ELABORADO POR: JANDRY MORENO	
UBICACION: PROVINCIA: LOJA; CANTÓN: ESPÍNDOLA; PARROQUIA: SANTA TERESITA; BARRIO: GUARANGO	CONTENIDO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	ESCALA: 1 : 600	
PROPIETARIO: JANDRY MORENO CRUZ	CARRERA DE: INGENIERÍA AGRÍCOLA	AREA DE RIEGO: 5020 M <sup>2</sup>	
		LAMINA: 1 de 4	

## Anexo 15.

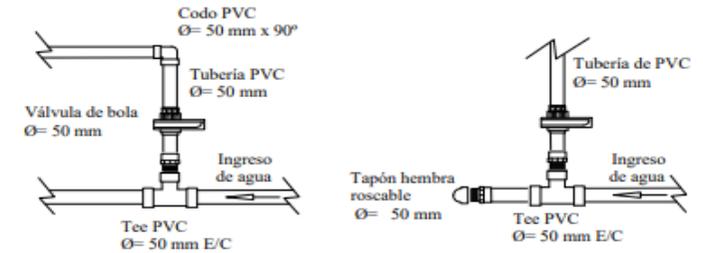
### Detalles constructivos del sistema de riego por goteo

#### Detalles técnicos constructivos del sistema de riego por goteo

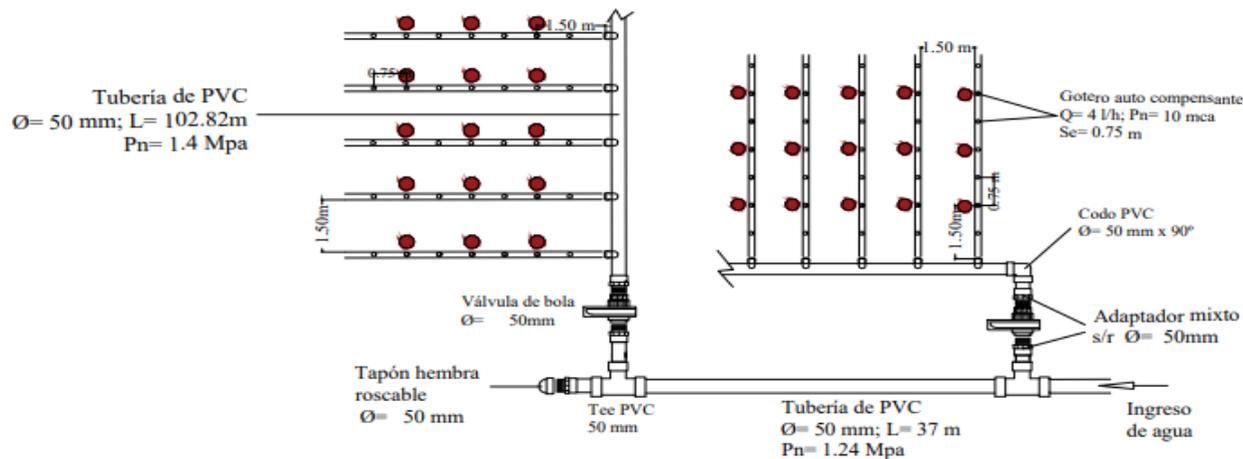
##### Detalle 1. Cabezal de control.



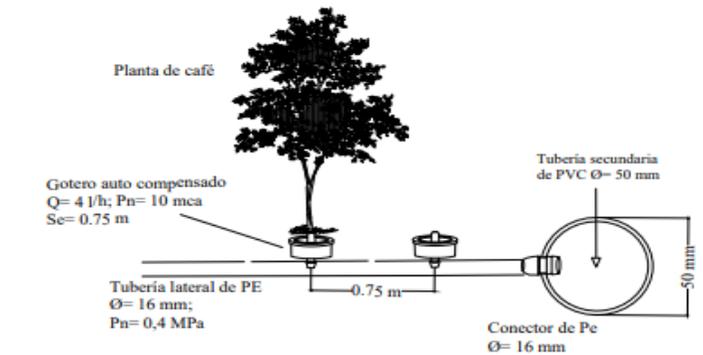
##### Válvulas de control parcelario



##### Distribucion de tuberías secundaria y laterales de riego



##### Nexo del conector de goteo a la tub. lateral



## Anexo 16.

### Certificado de traducción de español al idioma inglés

Loja, 03 de Julio de 2023 2023

Fredin Rolando Cruz Rosales  
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN:  
MENCIÓN INGLÉS**

#### CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen derivado de la tesis denominada **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espindola, provincia de Loja** de autoría de Jandry Fernando Moreno Cruz, cédula de identidad 1106001207, estudiante de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra bajo la dirección del Ing. Romel Ramón Hurtado, previo a la obtención del título de ingeniero Agrícola

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que considere conveniente.

Atentamente,



Fredin Rolando Cruz Rosales  
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN:  
MENCIÓN INGLÉS**

Lic. Fredin Rolando Cruz Rosales SENESCYT 1008-15-1359939 Telf. 0969803896  
Email: [rolandoteye@hotmail.com](mailto:rolandoteye@hotmail.com). [fredin.cruz@educacion.edu.ec](mailto:fredin.cruz@educacion.edu.ec)