



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 en el sistema agroforestal con
café (*Coffea arabica L.*) en la quinta experimental “La Argelia” de la
Provincia de Loja.**

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola.

AUTOR:

Alexis Gabriel Cañar Morocho

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 18 de agosto de 2022

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (coffea arabica l.) en la quinta experimental “La Argelia” de la Provincia de Loja**, de autoría del estudiante **Alexis Gabriel Cañar Morocho**, con cédula de identidad Nro. **1105306532**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los tramites de titulación.



Firmado electrónicamente por:
JORGE LUIS
JARAMILLO CONDOLO

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

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



Firma:

Cédula de identidad: 1105306532

Fecha: 03 de agosto de 2023

Correo electrónico: alexis.g.canar@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0969777605

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Alexis Gabriel Cañar Morocho** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*coffea arabica l.*) en la quinta experimental “La Argelia” de la 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de agosto de dos mil veintitrés.



Firma:

Autor: Alexis Gabriel Cañar Morocho

Cédula: 1105396532

Dirección: Loja, Loja - Ecuador

Correo electrónico: alexis.g.canar@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0969777605

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

El presente trabajo de integración curricular lo dedico a mi familia, de manera especial a mis padres Segundo Cañar y Lida Morocho, quienes fueron mi principal apoyo tanto emocional como económicamente para poder culminar esta etapa de mi vida profesional y quienes invirtieron su tiempo para educarme con amor y valores.

A mi hermano Efrén, mis hermanas Guisela y Evelyn por brindarme esos consejos de motivación, cariño y ofrecerme esa mano solidaria cada instante de mi vida.

A Johanna Guamán quien estuvo pendiente del paso a paso que daba en lo académico y personal, quien fue mi apoyo incondicional motivandome e insentivandome a seguir a delante.

Finalmente, dedico mi trabajo a todos los docentes que aportaron con sus conocimientos y me formaron como un profesional tanto en valores como académicamente con una visión distinta para solucionar múltiples problemas.

Alexis Gabriel Cañar Morocho

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría y valentía para poder culminar esta etapa académica.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, profesores, y administrativos que contribuyeron a mi formación profesional, en especial al Director de Trabajo de Intregración Curricular Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc. por brindarme su confianza, conocimiento, esfuerzo, dedicación y paciencia para la terminación del presente Trabajo de Integración Curricular.

Finalmente agradezco a mis familiares, amigos y aquellos, que en los momentos más difíciles supieron brindarme su apoyo incondicional, en este proceso de formación académica.

Alexis Gabriel Cañar Morocho

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. El cultivo de café	6
4.2. Aspectos generales del cultivo de café	6
4.3. Condiciones ambientales del cultivo de café.....	7
4.3.1. Temperatura	7
4.3.2. Precipitación	7
4.3.3. Humedad.....	7
4.3.4. Viento.....	7
4.3.5. Altitud	7
4.4. El suelo.....	8
4.5. Propiedades físicas del suelo	8
4.5.1. Textura	9
4.5.2. Estructura	9
4.5.3. Porosidad.....	9

4.5.4. Densidad aparente.....	10
4.5.5. Profundidad efectiva.....	10
4.6. Contenido de agua en el suelo.....	11
4.6.1. Puntos importantes en la curva de retención de humedad.....	12
4.6.1.1. Saturación.....	12
4.6.1.2. Capacidad de Campo.....	12
4.6.1.3. Punto de Marchitez Permanente.....	12
4.6.1.4. Umbral de riego.....	13
4.6.1.5. Agua Aprovechable.....	13
4.6.1.6. Capacidad de aireación.....	13
4.7. Riego.....	13
4.7.1 Riego por goteo.....	14
4.7.1.1. Ventajas.....	14
4.7.1.2. Desventajas.....	14
4.7.2. Componentes de un sistema de riego por goteo.....	14
4.7.2.1. Fuente de agua.....	14
4.7.2.2. Cabezal de control.....	14
4.7.2.3. Sistema de filtrado.....	14
4.7.2.4. Manómetro.....	15
4.7.2.5. Válvulas.....	15
4.7.2.6. Tuberías.....	15
4.7.2.7. Emisores.....	15
4.7.3. Tipos de riego por goteo.....	16
4.7.4. Diseño de sistemas de riego por goteo.....	17
4.7.5. Diseño agronómico.....	17
4.7.5.1. Necesidades hídricas de los cultivos.....	17
4.7.5.2. Evapotranspiración del cultivo.....	17
4.7.5.3. Evapotranspiración de referencia.....	17
4.7.5.4. Coeficiente del cultivo.....	17

4.7.5.5. Precipitación efectiva.....	18
4.7.5.6. Necesidades de riego.....	18
4.7.5.7. Lámina neta.....	18
4.7.5.8. Tiempo de riego.....	18
4.7.6. Diseño hidráulico.....	18
4.7.6.1. Red hidráulica.....	18
4.7.6.2. Pérdida de carga en tuberías.....	18
4.8. Calidad del agua de riego.....	20
4.8.1. Salinidad.....	20
4.8.2. Infiltración del agua en el suelo.....	20
5. Metodología.....	21
5.1. Localización del área de estudio.....	21
5.1.1. Ubicación Geográfica.....	21
5.1.2. Ubicación Ecológica.....	21
5.2. Materiales y equipos.....	22
5.2.1. Materiales de campo.....	22
5.2.2. Materiales de laboratorio y equipos.....	22
5.3. Metodología para el primer objetivo.....	22
5.3.1. Reconocimiento de la fuente de agua y área del sitio de estudio.....	22
5.3.2. Descripción del perfil del suelo.....	23
5.3.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	23
5.3.3.1. Características físicas.....	23
5.3.3.2. Curva de retención de humedad del suelo.....	24
5.3.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	24
5.3.5. Velocidad de infiltración.....	25
5.3.5.1. Infiltración acumulada.....	25
5.3.5.2. Infiltración instantánea.....	26
5.3.5.3. Velocidad de infiltración básica.....	26

5.4. Metodología para el segundo objetivo.....	27
5.4.1. Diseño Agronómico.....	27
5.4.2. Necesidades hídricas de los cultivos.....	27
5.4.3. Precipitación efectiva.....	28
5.4.4. Requerimientos de riego.....	29
5.4.5. Necesidades Brutas (Nb).....	29
5.4.6. Caudal Ficticio continuo.....	29
5.4.7. Necesidades netas de riego.....	30
5.4.8. Necesidades Netas de Riego (NT).....	32
5.4.9. Necesidades totales.....	32
5.4.10. Necesidades diarias por árbol.....	33
5.4.11. Parámetros de riego.....	33
5.5. Diseño Hidráulico.....	36
5.5.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria del sistema de riego.....	36
5.5.2. Diseño de la tubería principal.....	40
5.5.3 Carga dinámica total.....	41
6. Resultados.....	42
6.1. Características físicas e hidrofísicas del suelo.....	42
6.1.1. Superficie a regar.....	42
6.1.2. Descripción del perfil del suelo.....	43
6.1.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	48
6.1.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo y curva de retención de humedad.....	48
Unidad de riego.....	51
6.2. Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental “La Argelia”.....	52
6.2.1. Diseño Agronómico.....	52
6.2.2. Necesidades hídricas de los cultivos.....	52

6.2.2.1. Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	52
6.2.2.2. Coeficiente del cultivo (K _c).....	53
6.2.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ET _c).....	54
6.2.2.4. Precipitación efectiva.....	54
6.2.2.5. Requerimientos de riego.....	54
6.2.2.6. Necesidades brutas Nbr y caudal continuo.....	55
6.2.2.7. Necesidades de agua del cultivo de café.....	55
6.2.2.8. Parámetros de riego.....	56
6.3. Diseño Hidráulico.....	57
6.3.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego.....	57
6.3.2. Diseño de la tubería principal.....	60
6.3.3. Costos de instalación del sistema de riego.....	60
7. Discusión.....	62
8. Conclusiones.....	67
9. Recomendaciones.....	68
10. Bibliografía.....	69
11. Anexos.....	77

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación Botánica del Café.....	6
Tabla 2. Características eco-fisiográficas del perfil.....	43
Tabla 3. Resultados de las características físicas e hidrofísicas del suelo.	48
Tabla 4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	51
Tabla 5. Determinación de la velocidad de infiltración básica.....	51
Tabla 6. Evapotranspiración de referencia ETo.....	53
Tabla 7. Evapotranspiración del cultivo (ETc).	54
Tabla 8. Precipitación efectiva de la Estación Meteorología “La Argelia”.....	54
Tabla 9. Valores de requerimientos de riego para el cultivo de café.	55
Tabla 10. Necesidades brutas y caudal continuo para el cultivo de café.	55
Tabla 11. Necesidades de agua para el cultivo de café.....	56
Tabla 12. Características generales del gotero.....	56
Tabla 13. Parámetros de riego para la zona de estudio.....	57
Tabla 14. Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la unidad 1	58
Tabla 15. Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la subunidad 2.....	59
Tabla 16. Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la subunidad 3.....	59
Tabla 17. Resultados del diseño de la tubería principal.....	60
Tabla 18. Presupuesto para la instalación del sistema de riego.....	61
Tabla 19. Datos de campo de infiltración.....	79
Tabla 20. Descripción del perfil del suelo.	81
Tabla 21. Determinación de textura.....	81
Tabla 22. Determinación de constantes hidrofísicas.....	82
Tabla 23. Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman Monteith.	84
Tabla 24. Presupuesto para la instalación del sistema de riego.	85
Tabla 25. Características de las laterales..	91
Tabla 26. Características de la tubería secundaria.	93
Tabla 27. Características de la tubería principal.....	94

Índice de figuras

Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo.....	11
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio en la Quinta Experimental La Argelia.....	21
Figura 3. Variación por factor de corrección por advención.....	31
Figura 4. Topografía de la zona de estudio.....	42
Figura 5. Perfiles de suelo de la zona de estudio.....	44
Figura 6. Curva de retención de humedad del perfil 1.....	49
Figura 7. Curva de retención de humedad del perfil 2.....	49
Figura 8. Curva de retención de humedad del perfil 3.....	50
Figura 9. Curva promedio de infiltración del agua en el suelo.....	52
Figura 10. Coeficiente del cultivo de Café (Kc).....	53
Figura 11. Determinación de la textura mediante el Triángulo textural.....	77
Figura 12. Diagrama triangular de evaluaciones físicas del suelo.....	78
Figura 13. Ecuación de descarga del emisor.....	82
Figura 14. Ficha técnica del gotero Naandanjain. J-Turbo Key Plus no compensante 4 (1 h -1) ..	83
Figura 15. Levantamiento topográfico de la zona de estudio.....	96
Figura 16. Levantamiento topográfico del área de implementación.....	97
Figura 17. Diseño del sistema de riego.....	98
Figura 18. Detalles técnicos constructivos del sistema de riego.....	99

Índice de anexos

Anexo 1. Triángulo textual.	77
Anexo 2. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.	78
Anexo 3. Datos de campo de infiltración.	79
Anexo 4. Descripción del perfil del suelo.	80
Anexo 5. Determinación de textura.	81
Anexo 6. Determinación de textura.	82
Anexo 7. Ecuación de descarga del emisor.	82
Anexo 8. Ficha técnica del gotero.	83
Anexo 9. Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman Monteith.	84
Anexo 10. Presupuesto para la instalación del sistema de riego.	85
Anexo 11. Ecuaciones del diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	87
Anexo 12. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.	91
Anexo 13. Plano de levantamiento topográfico.	96
Anexo 14. Levantamiento topográfico del sistema de riego del sistema.	97
Anexo 15. Diseño del sistema de riego.	98
Anexo 16. Detalles constructivos.	99
Anexo 17. Certificado de aprobación de cambio de objetivo y modificación del título.	100
Anexo 18. Respaldo fotográfico.	103
Anexo 19. Certificación de traducción del resumen de Trabajo de Integración Curricular	1013

1. Título

Diseño de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la quinta experimental “La Argelia” de la Provincia de Loja.

2. Resumen

En la provincia de Loja se presentan estacionalmente periodos con alto porcentaje de déficit hídrico, para lo cual gran parte del éxito en el desarrollo de producción agrícola se encuentra limitada a la aportación de agua suplementaria, misma que se debe aportar tomando en cuenta la conservación del suelo y el buen manejo del recurso hídrico. Por tal razón, se realizó el presente trabajo de estudio, que tiene como finalidad contribuir al manejo eficiente del agua y a la conservación del suelo a través del diseño de un sistema de riego por goteo para la producción de café (*Coffea arabica L.*) en la quinta agroforestal “La Argelia”. Para ello, se realizó un estudio de las condiciones físicas del suelo mediante la descripción del perfil y toma de muestras alteradas. En el diseño agronómico, se determinaron las necesidades de riego para el cultivo de café, el cual dieron como resultado $2,13 \text{ mm día}^{-1}$ para el mes de septiembre de mayor evapotranspiración. En los análisis de los resultados de las propiedades físicas del suelo se obtuvo la textura es principalmente franco (Fo) y Franco Limoso (FoLo), $D_a = 1,20 \text{ g cm}^{-3}$; S (44,96 %); CC (25,21 %) y, PMP (13,79 %), y $V_{ib} = 80,7 \text{ mm h}^{-1}$; mientras que la evaluación física del suelo se clasificó en una clase pobre de acuerdo con el diagrama triangular de evaluación física del suelo. En cuanto al área de riego fue de 960 m^2 , el cual se dividió en 3 subunidades de 320 m^2 , con una frecuencia de riego de 1 día y un tiempo de aplicación de riego de 137 minutos seguidos. Las subunidades de riego estarán constituidas por una tubería de PVC de 0,40 MPa, una longitud de 60,00 m, y un diámetro nominal de 32 mm, con una velocidad de $0,50 \text{ m s}^{-1}$; y pérdidas de carga $h_f = 0,040 \text{ mca}$ en la tubería secundaria y 1,02 mca en la tubería principal, los laterales de riego fueron de 32 m de longitud, con un diámetro de 16 mm, con goteros no auto compensados incorporados de 4 l h^{-1} y una presión de trabajo de 10,19 mca, la bomba instalada para el abastecimiento de agua abastece un caudal de 3 180 l h^{-1} . El sistema de riego esta dividido en tres subunidades con el mismo dimensionamiento las cuales se riegan por separado, el costo de la instalación es de \$1 652.77 sin tomar en cuenta la mano de obra.

Palabras clave: Cultivo de café, diseño de riego, coeficiente de Christiansen, riego por goteo, eficiencia del riego.

2.1. Abstract

In the province of Loja, there are seasonal periods with a high percentage of water deficit. Therefore, a significant part of the success in agricultural production development is limited to the contribution of supplementary water. This contribution must be provided while considering soil conservation and proper water resource management. For this reason, the present study was conducted with the aim of contributing to the efficient management of water and soil conservation through the design of a drip irrigation system for coffee production (*Coffea arabica L.*) in the agroforestry farm called “La Argelia”. To fulfill this objective, a study was carried out on the physical conditions of the soil by describing the profile and collecting disturbed soil samples. In the agronomic design, the irrigation requirements for coffee cultivation were determined, resulting in a value of 2.13 mm day⁻¹ for the month of september with the highest evapotranspiration. This was complemented with the analysis of the results of the soil’s physical properties: the texture is predominantly sandy loam (Fo) and loamy sandy (FoLo), bulk density (Da) is 1.20 g cm⁻³, saturation (S) is 13.79% and infiltration rate (V_{1b}) is 80.7 mm h⁻¹. The physical evaluation of soil was classified as poor. The irrigation area was 960 m², which was divided into 3 subunits of 320 m² each. The irrigation frequency was 1 day, and the irrigation duration was 137 minutes. The irrigation subunits will be composed of a PVC pipe with a pressure rating of 40 mca, a length of 60.00 m, and a nominal diameter of 32 mm. The water velocity will be 0.50 m/s. The lateral lines for irrigation were 32 m in length, with a diameter of 16 mm. They were equipped with non-compensating drippers with a flow rate of 4 l/h and a working pressure of 10 mca, the pump installed for the water supply supplies a flow of 3,180 l h⁻¹. The irrigation system is divided into three subunits with the same dimensioning which are irrigated separately, the cost of the installation is \$1,652.77 without taking labor into account.

Keywords: Coffee growing, irrigation design, Christiansen coefficient, irrigation drip, irrigation efficiency.

3. Introducción

Según Liotta (2015) el riego presurizado se inicia a principios de la década de los 70, sin embargo, no se logró un desarrollo que permita satisfacer las necesidades de la producción agrícola debido a las restricciones técnicas que presentaban los equipos que ocasionaba principalmente obstrucciones en los goteros.

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2012) indica que se ha evidenciado un considerable incremento en la superficie de tierra dedicada al riego durante los últimos 50 años. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que de acuerdo al país la distribución de agua y tierra varía, de los cuales para la producción agrícola se considera un porcentaje relativamente bajo de dichos recursos. De hecho, la superficie de regadío en el mundo es de 325,1 millones de hectáreas, lo cual representa aproximadamente un 20 % de la superficie de tierra cultivada.

En Latinoamérica, la agricultura se considera como uno de los sectores más importantes en términos de consumo de agua; sin embargo, en los últimos años, se ha observado una desaceleración en la expansión del riego debido a la situación financiera de la región. Esto se debe al elevado costo que representa la implementación de presas y sistemas de riego para satisfacer las necesidades de consumo en la consolidación de proyectos agrícolas (Tomalá, 2021).

En Ecuador, la superficie total bajo riego abarca 853 332 ha, lo cual representa aproximadamente una cuarta parte de la superficie que podría ser regada, ya que se estima que la aptitud de los suelos para riego y manejo del recurso hídrico para fines productivos alcanzan las 3'130 000 ha. No obstante, en la actualidad, la expansión territorial del riego está limitada, aprovechándose únicamente un 82% del consumo total de agua en el país para riego, mientras que el resto se distribuye entre el 12,3% para uso doméstico y el 5,6% para uso industrial (Zapatta & Gasselin, 2005).

La provincia de Loja presenta topografía muy irregular, con fuertes pendientes y escasas extensiones de territorio plano. Por lo general, el riego se maneja de manera tradicional, sin ningún tipo de tecnificación. Según Terán (2014), el 22% de la superficie agrícola cuenta con un riego tecnificado, mientras que el 78% carece de este tipo de riego. El principal método de riego es por

gravedad, lo cual conlleva grandes consecuencias en cuanto a la degradación del suelo ya que provocan erosión en el suelo y lixiviación de los nutrientes presentes y disponibles para las plantas, cuando este no es manejado correctamente.

En Ecuador el café se cultiva en 23 provincias del país, ubicándose entre las 10 especies con mayor superficie cultivada (Chamba, 2018). Las provincias de El Oro, Loja y Manabí representan 80 % del área cultivada de cafetales arábigos, el 20 % restante se distribuye en otras 19 provincias productoras (Duicela et al., 2017).

El riego por goteo puede reducir de manera significativa el uso del agua teniendo una mayor eficiencia en su aplicación, esto debido que se pierde o desperdicia muy poca agua ya que existen pocas pérdidas por escurrimiento, evaporación o percolación. Así mismo con un diseño de riego que sepa cubrir las necesidades de las plantas de manera adecuada es posible un aumento en el rendimiento del mismo (Shock & Teresa, 2013).

En estas consideraciones, se propuso el diseño de un sistema de riego por goteo para la producción de café (*Coffea arabica L.*) en la quinta experimental “La Argelia”, Loja. Debido a que a la precipitación efectiva en los meses de mayor evapotranspiración no es adecuada para abastecer las necesidades hídricas del cultivo y a consecuencia de ello se podría ver afectado por estrés hídrico.

Objetivo general

Contribuir al uso eficiente del agua mediante el diseño de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica L.*) en la quinta experimental La Argelia.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo y determinar los requerimientos hídricos del cultivo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica L.*)
- Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental “La Argelia”.

4. Marco teórico

4.1. El cultivo de café

De acuerdo con Bettancourt (2002) citado por Villacís y Aguilar (2016) el género *Coffea* tiene alrededor de 80 especies originarias de África y Asia constituyendo las variedades del *Coffea arábica L.* y *Coffea canephora* las de mayor importancia comercial, ocupando entre el 65 % y 33 % del área de superficie cultivada a nivel mundial respectivamente. En Ecuador, la superficie cultivada es de aproximadamente 231 919 hectáreas, de la cual el 66 % (153 066 ha) corresponden a la variedad arábigo y el 34 % restante (78 852 ha) a la variedad robusta.

Tabla 2

Clasificación Botánica del Café.

Reino:	Vegetal	Familia:	Rubiaceae
Subreino:	Angiosperma	Género:	<i>Coffea</i>
Clase:	Dicotiledónea	Especie:	<i>C. arábica L.</i>
Orden:	Rubiales		

Fuente. Villacís & Aguilar (2016).

4.2. Aspectos generales del cultivo de café

Debido a las características que presenta el café, su producción esta acotada por los límites geográficos que se encuentran comprendidos por los trópicos de Cáncer y de Capricornio, este cultivo es producido a nivel mundial en más de 70 países, entre los que se destacan Brasil, Colombia, Indonesia, India y recientemente Vietnam, como los principales productores de café (García & Javier, 2008).

El café requiere de cantidades de agua adecuadas para tener un buen desarrollo y de manera concreta en la etapa de floración, ya que de esta etapa depende su producción. Por tal razón cuando se tiene una aplicación de láminas de agua que sean menores a 1 000 mm anuales se limita el crecimiento lo que provocará una reducción en las cosechas (Instituto del Café de Costa Rica ICAFE, 2011).

4.3. Condiciones ambientales del cultivo de café

La Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFÉ, 2012) menciona que, como todos los cultivos, el café también requiere de adecuadas condiciones ambientales para que se pueda desarrollar de mejor manera y, así mismo, estas son favorables y de gran importancia para su producción.

4.3.1. Temperatura

La temperatura es muy importante en el cultivo de café, esta debe oscilar entre los 17 a 26°C, si es menor a 16 grados se pueden quemar los brotes y si sobrepasa los 27 grados, hay más riesgo de deshidratación de la planta y reducción de la fotosíntesis.

4.3.2. Precipitación

El agua natural que reciben las plantas es esencial, pero si es excesiva puede ser perjudicial. Por ello, el rango establecido de precipitaciones necesarias para la producción de café es de entre 1000 a 3000 milímetros/año. Si llueve más, se producen hongos y, si reciben menos, se reduce el crecimiento de las plantas de café.

4.3.3. Humedad

El Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2014) manifiesta que la humedad es también muy importante y va de la mano de las precipitaciones. Si la humedad relativa es mayor a 90.0% hay riesgo de que la planta se enferme con hongos.

4.3.4. Viento

Los vientos también son importantes en la producción del café, porque si los vientos superan los 30 Km/h, se produce un daño en la planta con la caída de hojas, deshidratación de las yemas rotura de flores y frutos (CEDRSSA, 2014).

4.3.5. Altitud

La altura apropiada para la producción del café es de entre 1200 a 1800 metros sobre el nivel del mar. Si se cultiva el café a menor altura, los costos de producción aumentan, ya que se

reduce la calidad de los granos de café. En cambio, si se cultiva a mayor altura de la aconsejada, se produce un menor crecimiento de las plantas (CEDRSSA, 2014).

En zonas ecuatoriales, a la altitud se le atribuye una función reguladora del clima (temperatura) es decir que permite que se obtenga muy buenas cosechas y de alta calidad por sobre los 2 000 m.s.n.m. (Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 1993).

4.4. El suelo

Se conoce como suelo a la capa superficial de la tierra, en la cual crecen y se desarrollan las plantas, debido a que facilita la extracción de agua y nutrientes. Además, permite un desarrollo adecuado, es decir, es el principal factor para el desarrollo de las plantas, ya que depende del suelo para su nutrición y el intercambio gaseoso.

Según Angella et al., (2016) consideran al suelo como un depósito constituido por agua, aire y nutrientes que son tomados por la planta dependiendo de las cantidades y características que lo complementan, por lo que es importante conocer cómo se encuentran constituidas las fuerzas que ocasionan el movimiento y la retención del agua en el suelo.

4.5. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos permiten determinar de mejor manera y en gran medida la capacidad que presenta el suelo para muchos de los usos del suelo, debido a que la condición física que presenta un suelo permite determinar la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de raíces, aireación, velocidad de infiltración, almacenamiento de agua, plasticidad y retención de los nutrientes, es necesario e importante tener conocimiento de dichas propiedades ya que ayudan a comprender de mejor manera como influyen dichas propiedades en el crecimiento de las plantas (Rucks et al., 2004).

Es importante conocer el comportamiento y funciones del suelo, ya que las propiedades físicas influyen en el mismo, siendo estas el resultado de la interacción entre las distintas fases del suelo: sólido (suelo), líquido (agua), gaseoso (aire) y la proporción en la que cada uno de estos elementos se encuentran, la condición física no solo influye en la distribución del tamaño de las partículas del suelo, sino también determina la capacidad de sostenimiento, penetración de raíces,

capacidad de almacenamiento de agua, circulación del aire, drenaje entre y otros factores (McCarty et al., 2016).

4.5.1. Textura

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos constituyentes del suelo tales como: arenas, arcillas y limos. Se estima que un suelo presenta buena textura cuando los elementos que la constituyen están presentes en proporciones óptimas, por lo general se encuentra clasificado como un suelo de tipo medio de textura franco que tiene relación de porcentajes de arena-limo-arcilla de 40-40-20 respectivamente que le den la posibilidad de actuar como un soporte capaz de mantener la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Alvarez & Velozo, 1974).

Según la Corporación de Desarrollo Indígena (CONADI, 2017) al hablar de frecuencias de riego, la textura conjuntamente con la profundidad del suelo, constituye un elemento importante para el mejoramiento y distribución del agua, la frecuencia es menor en suelos arenosos y en suelos arcillosos es mayor, debido a que el primer suelo retiene menor cantidad de agua que el segundo.

4.5.2. Estructura

La estructura no es un parámetro estable, puede variar en función del: clima, manejo del suelo, los procesos edáficos, contenido de materia orgánica, etc. Un suelo con una buena estructura representa un volumen y distribución de poros adecuado; además, garantiza el óptimo aprovechamiento de nutrientes, la circulación del agua (entrada y salida), almacenamiento y redistribución entre los horizontes. También define la naturaleza del sistema poroso del suelo y colabora en mantener las partículas minerales (limo) fuera de los poros. El agua es el componente que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (Quiroga et al., 2018).

4.5.3. Porosidad

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general, el volumen del suelo está constituido por 50 % materiales sólidos (45 % minerales y 5 % materia orgánica) y el 50 % restante de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos, donde nutrientes, aire y gases pueden circular o

retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (Novillo et al., 2018).

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas (Quiroga et al., 2018).

4.5.4. Densidad aparente

Es el peso de una unidad de volumen de suelo o que incluye su espacio poroso, es importante para el manejo de los suelos por reflejar la facilidad de circulación de agua, aire y la compactación. Es necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen de campo. La densidad aparente de los suelos no cultivados varía generalmente entre 1 y 1,6 g/cm³, suelos arenosos es de 1,6 g/cm³, suelos francos y arcillosos en 1,1 g/cm³, >1,75g/cm³ problemas penetración raíces y muy baja CH. Esta variación es debida en su mayor parte a las diferencias en el volumen total de poros por textura y estructura (Assan y Gorosito, 2018).

4.5.5. Profundidad efectiva

Se entiende como profundidad efectiva al espacio en donde las raíces pueden penetrar sin obstáculos con la finalidad de absorber agua y nutrientes indispensables para su crecimiento. Se estudia la influencia de la profundidad efectiva del suelo, en cuanto al contenido de agua que es útil y puede ser aprovechada por los cultivos. Dicho de otra manera, se refiere a la capacidad de retención de agua útil del suelo, donde la profundidad efectiva influye sobre algunas variables que mejoran la producción de un determinado cultivo (Krüger et al., 2018).

4.6. Contenido de agua en el suelo

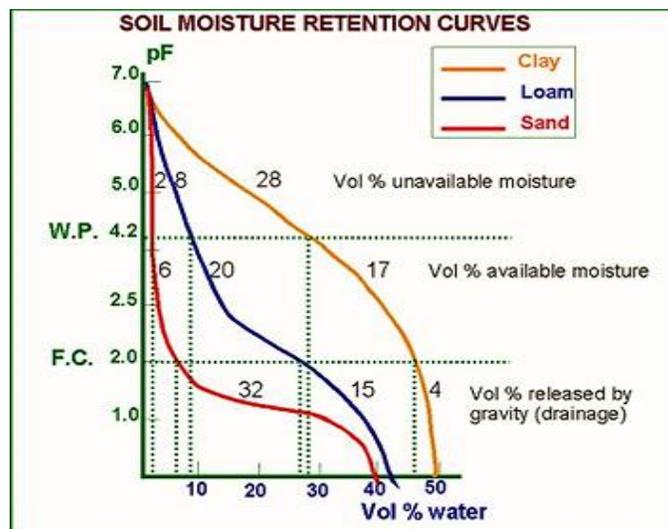
El suelo y el agua son recursos de suma importancia que ven involucrados directa o indirectamente sobre las actividades de producción. El contenido de agua del suelo es una variable crucial para la determinación de los contenidos de humedad y los requerimientos de lámina de agua que debe ser aplicada en el suelo (García & Puppo, 2015).

El agua higroscópica o molecular es la fracción del agua absorbida directamente de la humedad del aire, que se adhiere a la partícula por adhesión superficial. El poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta partícula de agua del terreno (esta porción del agua en el suelo no es utilizable por las plantas) (Durán, 2008).

Gráficamente la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente resulta en el agua disponible para cultivo en mm o expresado porcentualmente, ver Figura 1. La textura del suelo influencia en la cantidad de agua en un suelo drenado hasta el punto de capacidad de campo y la cantidad que está disponible para las plantas. La humedad del suelo que se encuentra disponible se puede determinar en el laboratorio como se observan en las curvas de retención de humedad del suelo.

Figura 1

Curva de retención de humedad del suelo.



Fuente: FAO 2006. Portal Suelos

4.6.1. Puntos importantes en la curva de retención de humedad

4.6.1.1. Saturación. Cuando un campo se encuentra encharcado, el espacio de aire en el suelo se desplaza por el agua llenándose así todos los espacios porosos de agua lo que lleva a la saturación del suelo (FAO, 2022). Se refiere al contenido de humedad que presenta el suelo cuando todos sus poros han sido llenados de agua, el periodo de saturación en la parte superficial del suelo es relativamente corto ya que a medida que el abastecimiento del agua cesa, gran proporción de agua que se encontraba contenida en los poros se drenará, y dichos poros se llenarán de aire. En suelos de textura gruesa o arenosos este drenaje habrá concluido en pocas horas, mientras que en suelos de textura fina puede durar de 2 a 3 días (Cadena, 2017).

4.6.1.2. Capacidad de Campo. Es el agua que se encuentra retenida en un suelo en contra de la gravedad, ocurre luego de la saturación, en este estado el agua se encuentra retenida con un potencial equivalente a $1/3$ de atmósfera, en ese sentido un suelo arenoso puede retener aproximadamente 5 % de humedad, mientras que los suelos arcillosos llegan a alcanzar una retención de hasta el 50 %. Sin embargo, el valor en porcentaje del volumen de agua existente puede situarse para suelos arenosos en 6%, para suelos francos o medios entre 20- 25% y en suelos pesados o arcillosos entre 35-40% (Cadena, 2017).

4.6.1.3. Punto de Marchitez Permanente. Es el contenido de humedad en el que la capacidad máxima de succión de la planta es igual a la tensión con que el agua es retenida por el suelo, dicho de otra manera, el agua almacenada en el suelo va siendo extraída por las raíces o evaporada hacia la atmósfera; si no se añade agua para compensar estas pérdidas, el suelo se irá secando gradualmente y cuanto más seco está el suelo, más fuertemente será retenida el agua sobrante y más difícil será para las plantas extraerla llegando a producir en estas la marchitez y finalmente la muerte. El contenido de agua en el suelo en este momento se le conoce como punto de marchitez permanente, es decir el suelo tiene todavía algo de agua, pero las raíces son incapaces de extraerla (Cadena, 2017). Las plantas deben producir una succión de hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina Punto de Marchitez Permanente (PMP), a ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración, se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez (FAO, 2022).

4.6.1.4. Umbral de riego. Se lo denomina también como agua fácilmente aprovechable, es decir, se refiere al contenido de agua presente en el suelo y que la planta puede extraer sin restricciones, por lo tanto, al UR se lo considera como la mitad de la diferencia de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que su producción disminuya (Ojeda et al., 2018).

4.6.1.5. Agua Aprovechable. Se refiere a la cantidad de agua que puede ser utilizada o absorbida por las plantas en la zona de crecimiento radical, es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Este parámetro permite conocer cuál será el máximo rendimiento al que se puede llegar con un determinado cultivo (Valarezo et al., 1998).

4.6.1.6. Capacidad de aireación. Los poros del suelo que están ocupados por aire a capacidad de campo, constituyen la porosidad de aireación, que es importante para la difusión del oxígeno hacia las raíces. Si la porosidad de aireación es mayor a 10 – 15 % es satisfactoria para el crecimiento de las plantas (Valarezo et al., 1998).

4.7. Riego

El riego se define de manera concreta como un medio artificial mediante el cual se aplica agua a la zona radicular de las plantas, dicho de otra manera es la aplicación de agua de manera oportuna y uniforme en el suelo, con la finalidad de reponer el agua que ha sido consumida por los cultivos ó que se ha perdido por diferentes factores climaticos o topograficos. Un buen riego es aquel que humedece adecuadamente la zona radicular, en este sentido la cantidad de agua que se incorporará al perfil del suelo debe suplir la demanda causada por el consumo del cultivo realizandose mediante una técnica adecuada que permita humedecimiento uniforme (Zapatta & Gasselin, 2005).

Es un gran reto el hecho de tratar de distribuir homogéneamente las láminas de agua en una parcela de un determinado cultivo, debido a que siempre se presentan una serie de dificultades que desfavorecen a la distribución adecuada de las láminas de riego y lo cual conlleva una afectación a la producción de los cultivos. A pesar que el suelo simula una especie de depósito en la que las

plantas puede absorber sus nutrientes, el agua que se encuentra presente en el suelo no se encuentra distribuida, ni libre para su disponibilidad. Debido a esta situación se han presentado algunas soluciones como lo son los sistemas de riego, los cuales tiene el objetivo de contribuir y poner a disposición de las plantas la lámina de agua necesaria para su correcto desarrollo y buena producción (Lecaros, 2011).

4.7.1 Riego por goteo

Este tipo de riego es uno de los sistemas más eficientes que existe actualmente debido a que el suministro de agua es aplicado de manera constante y uniformemente distribuida en la zona radicular, lo que permite mantener la humedad en dicha zona en condiciones de baja tensión (Calderón-Medina et al., 2018).

4.7.1.1. Ventajas. Automatización del sistema, esto debido a que requiere de poca mano de obra en las distintas actividades que se llevan a cabo en su ejecución y puede ser instalada en diversas condiciones topográficas. Presenta alta eficiencia debido a que se logra una gran uniformidad en el riego utilizando la lámina de agua que requiere el cultivo

4.7.1.2. Desventajas. Es de mayor complejidad con respecto a los sistemas tradicionales, debido a que requiere de un mantenimiento constante. Además, requiere de alta inversión inicial.

4.7.2. Componentes de un sistema de riego por goteo

4.7.2.1. Fuente de agua. Existen muchas fuentes de las cuales se puede abastecer un sistema de riego, puede ser de quebradas, ríos, incluso también se puede considerar una fuente subterránea, sin embargo, existen situaciones en las que el agua captada se almacena en reservorios con la finalidad de abastecer de manera constante al sistema de riego (Toledano et al., 2014).

4.7.2.2. Cabezal de control. Se ubica aguas arriba y su uso tiene diferentes finalidades como proporcionar caudal, presión, filtrar el agua, inyectar fertilizantes entre otras utilidades del equipo, es el elemento central del sistema (Liotta et al., 2015).

4.7.2.3. Sistema de filtrado. Según Castro (2016) el sistema de filtrado es el componente más importante, debido a que tiene la finalidad de impedir el paso de impurezas al sistema de riego y por ende a los componentes que conducen el agua, evitando de esta manera la obstrucción del

agua en la red del sistema de riego, principalmente evitan el taponamiento de los emisores lo cual provoca una mala distribución del agua.

4.7.2.4. Manómetro. Son dispositivos que se encargan de la medición de la presión del agua y con ello de mucha utilidad para detectar fallas en el funcionamiento del sistema, estos dispositivos se los ubica de manera estratégica antes y después del equipo de filtrado con el objetivo de conocer cuál es la presión de entrada del cabezal y la presión de salida del cabezal puesto que la obstrucción de cualquiera índole ocurre con más frecuencia en los equipos de filtrado lo cual produce pérdidas de carga (Castro, 2016).

4.7.2.5. Válvulas

4.7.2.5.1. Válvulas de aire. Admiten liberar aire que se puede acumular en puntos altos, por lo cual es una buena práctica incluir estas válvulas. Se deberían ubicar a la salida de grupos de bombeo, en picos y zonas altas de conducción, a la salida de depósitos, en variación de pendientes y en pendientes prolongadas y uniformes.

4.7.2.5.2. Válvulas de control. Su finalidad es controlar los problemas de descarga y presión del agua, se las ubica en las tuberías terciarias las cuales se encargan de regar las subunidades de riego (Anguinsaca, 2020).

4.7.2.6. Tuberías. Es el componente principal y el más importante puesto que la red de distribución está constituida por tuberías que permiten la conducción del agua. Los materiales de los tubos más utilizados para el riego por goteo son el PVC y polietileno (Castro, 2016).

4.7.2.7. Emisores. Los emisores son componentes encargados de controlar la salida de agua desde los laterales, están ubicados a cierta distancia entre ellos, lo que provoca que la salida del agua sea de manera discreta a lo largo del lateral (Fernández, 2010).

4.7.2.7.1. Gotos auto compensados. Se caracterizan principalmente por mantener el mismo caudal, aunque exista variación en la presión. Se lo utiliza con mayor frecuencia en terrenos con gran desnivel, lo que produce grandes variaciones en la presión (Liota, 2015).

4.7.2.7.2. No compensados. Según el Manual de Ingeniería Nacional de Riego o su denominación en inglés Irrigation National Engineering Handbook (INEH, 2013) a diferencia de

los auto compensados, estos emisores no tienen mecanismo de regulación de caudal, es decir que se produce una variación del caudal conforme varíe la presión, por otra parte, pueden funcionar con menor presión que los auto compensados, sin embargo, la longitud del lateral debe ser menor para no producir pérdidas en la uniformidad del caudal.

4.7.2.7.3. Características de un gotero. Según Liota (2015) las principales características de los goteros son las siguientes:

- Caudal nominal: es el caudal que suministra el gotero a la presión nominal, dicho de otra manera, es el valor máximo de caudal dentro de las condiciones nominales de funcionamiento.
- Presión nominal: se refiere a la presión que se ha tomado a consideración para el diseño del emisor.
- Ecuación de descarga: está relacionado con la presión hidráulica existente a su entrada por la ecuación: $Ec = kd * h^x$

donde:

Ec = ecuación del emisor

kd = Constante o coeficiente de descarga característico del emisor, equivalente al caudal a una presión de 1 mca.

h = presión hidráulica de entrada del agua en el emisor (mca)

x exponente de descarga, caracterizado por el régimen de flujo dentro del emisor (Rodrigo et al., 1997)

4.7.3. Tipos de riego por goteo.

- Gotero en línea. – es el ideal para plantas que estén alineadas, ya sea en macetas, jardineras o en huertos cuya longitud sea inferior a los 5 metros. Se montan en microtubos de 4-6mm y son muy interesantes ya que se pueden poner hasta 12 goteros.

- Gotero estándar. – se emplea para regar planta por planta. Para este tipo de sistemas se necesitan microtubos de 4/6mm, y una tubería de 16mm o, cuanto menos, tres y cruces. Pueden ponerse hasta 24 goteros en el microtubo, y de hasta 250 en la tubería.

- Gotero regulable. - Muy recomendado para regar plantas que estén en macetas. Su caudal es de 0 a 60 litros por hora. Para aprovecharlo al máximo se aconseja poner un gotero en microtubo o 15 en una tubería de 16mm (Juan, 1985).

4.7.4. Diseño de sistemas de riego por goteo

Lograr implementar un sistema de riego por goteo eficiente requiere de buena capacitación. El diseño de una instalación de riego por goteo es quizá el paso más crítico, de un diseño adecuado depende una operación eficiente del sistema. Fijar el caudal, presión y uniformidad, es pieza clave para iniciar el diseño (Espinoza, 2001).

4.7.5. Diseño agronómico

Este diseño requiere de una atención especial, ya que aquí es donde se determina la cantidad de agua que se debe conducir por la infraestructura en base a las necesidades del cultivo y con la finalidad de satisfacer sus demandas (Espinoza, 2001).

4.7.5.1. Necesidades hídricas de los cultivos. Se refiere a la cantidad de agua que requiere el cultivo, en otras palabras, en la reposición de agua que ha perdido la planta por evapotranspiración, este parámetro se lo determina con la finalidad de compensar las pérdidas a través del riego (Villafáfila, 2009).

4.7.5.2. Evapotranspiración del cultivo. Es el requerimiento hídrico que tiene el cultivo en cada una de sus fases fenológicas, este parámetro varía de la evapotranspiración de referencia ya que se relaciona con las características de cobertura vegetal del suelo (FAO, 2006). Se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{To} y el coeficiente del cultivo K_c .

4.7.5.3. Evapotranspiración de referencia. Es un parámetro agro-meteorológico de gran importancia para muchas áreas de estudio como la geotecnia, climatología e hidrología, donde su mayor importancia recae en el cálculo de la evapotranspiración de cultivo. Las necesidades de agua de riego de los cultivos se basan en la estimación de la evapotranspiración de referencia (E_{To}) de cada zona en particular, están sujetas a la limitación de información meteorológica existente (Ramos-Cirilo et al., 2021).

4.7.5.4. Coeficiente del cultivo. Este parámetro es considerado para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo y también para la planificación del riego, el valor de este coeficiente depende del crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo (Jiménez-Cumbicus, 2019).

4.7.5.5. Precipitación efectiva. Representa el porcentaje aprovechable de la lluvia total ya que no toda la lámina de agua precipitada llega a las plantas debido a pérdidas por intercepción de follaje, percolación profunda, evaporación y escorrentía rápida (Carter et al., 1974).

4.7.5.6. Necesidades de riego. La necesidad de agua de riego es la cantidad de agua que debe aportarse a un cultivo para asegurar que recibe la totalidad de sus necesidades hídricas o una fracción determinada de éstas. Según la FAO (1986) esta agua corresponde con dichas necesidades, se miden en mm/día y van a depender en cada momento de diversos factores: condiciones meteorológicas, características del suelo y del propio cultivo (especie, variedad, estado fenológico, adaptación al hábitat de cultivo, etc.).

4.7.5.7. Lámina neta. Cadena (2016) define a la frecuencia de riego como el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos, depende de la demanda de agua de la planta y la capacidad de retención de agua del suelo.

4.7.5.8. Tiempo de riego. Chow (2006) explica que es el tiempo que el emisor debe funcionar a fin de restituir el agua consumida por el cultivo y los factores ambientales en dicho período.

4.7.6. Diseño hidráulico

La finalidad del diseño hidráulico consiste en determinar las dimensiones de todos los componentes que se utilizarán para la instalación del sistema, así como los accesorios necesarios para la conducción e impulsión del agua hasta las parcelas, los cuales permitan garantizar que funcione de manera eficiente con altos niveles de uniformidad (Linares, 2011).

4.7.6.1. Red hidráulica. Fernández-Gómez (2010) afirma que la red de conducción y distribución está formada por el conjunto de tuberías y automatismos que llevan el agua desde la fuente pasando por el cabezal de riego hasta los emisores (goteros).

4.7.6.2. Pérdida de carga en tuberías. Las pérdidas de carga son la disminución de la presión en la parte interna de las tuberías, está pérdida es causada por el flujo del agua y la fricción de las partículas entre sí y contra las paredes de la tubería.

Las formulas más utilizadas para este parametro son:

- Manning: se suelen utilizar para el cálculo de pérdida de carga en canales, y en el caso de tuberías es válida cuando el canal es circular y está parcialmente lleno. La expresión es la siguiente:

$$h = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^{5.33}} * L$$

Donde:

h = pérdida de carga

n = coeficiente de rugosidad.

D = diámetro interno de la tubería

Q = caudal

L = longitud de la tubería

- Hazen-Williams: es uno de los más conocidos ya que su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad no es en función de la velocidad ni diámetro de la tubería.

$$h = 10,67 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,78}} * L$$

Donde:

h = pérdida de carga

C = coeficiente de rugosidad

D = diámetro interno de la tubería

Q = caudal

L = longitud de la tubería

4.8. Calidad del agua de riego

El desarrollo de las plantas se ven influenciadas por diferentes factores que ayudan a su desarrollo a través del aporte de nutrientes, entre ellos se encuentra la calidad del agua que se utilizara para regar los cultivos, principalmente su composición físico- química, es decir a su composición mineral.

Por su parte Fuentes (2002) menciona que los suelos presentan en su composición sales solubles provenientes del material parental del suelo y, también, de las aguas utilizadas para el riego, las cuales pueden ser aguas subterráneas, mismas que aportan sales al suelo. Por otro lado, existen problemas relacionados con la presencia de sales que contiene el agua, y que afecta en la salinidad, infiltración del agua en el suelo y la toxicidad.

4.8.1. Salinidad

Afecta directamente a la absorción de agua por parte de la planta, debido a que a medida que aumenta la presencia de sales de agua en el suelo la planta requiere de un esfuerzo mayor para su absorción.

4.8.2. Infiltración del agua en el suelo

Esta afectación se da cuando existe un alto contenido de sodio y bajo contenido de calcio, lo que provoca que las partículas de suelo se disgreguen y como consecuencia la disminución de la velocidad de infiltración del agua.

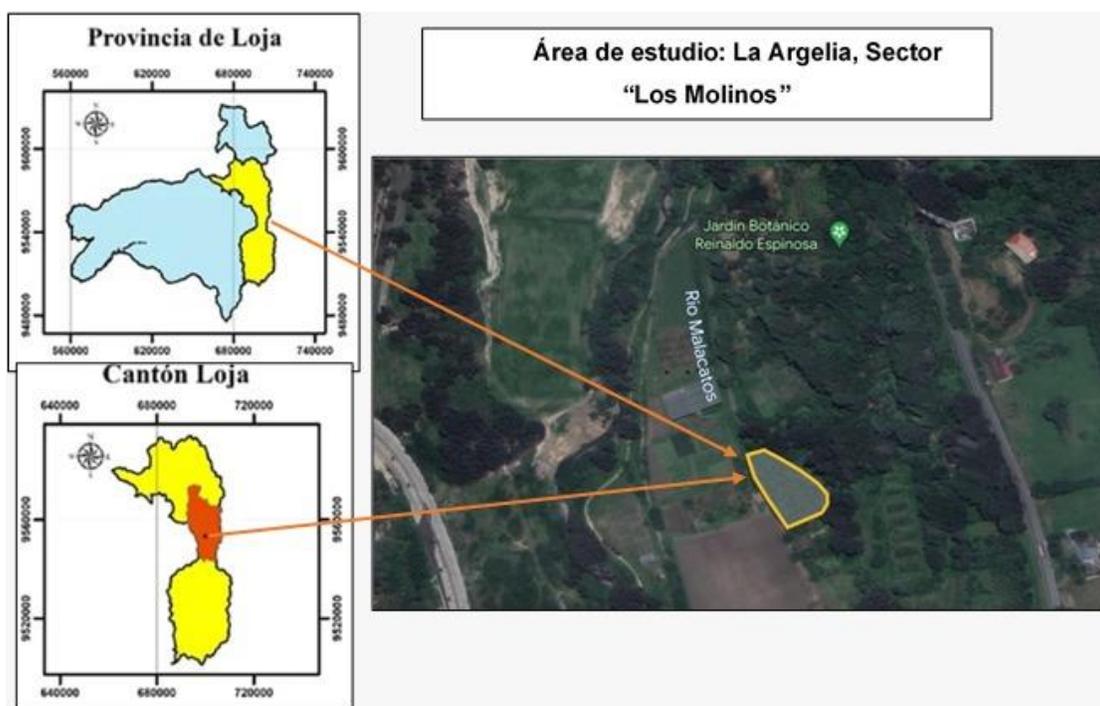
5. Metodología

5.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la quinta experimental de la Universidad Nacional de Loja, ubicado al Sur del cantón Loja, Provincia de Loja.

Figura 2

Ubicación de la zona de estudio en la Quinta Experimental La Argelia



Fuente: Cartografía Nacional IGM escala 1:50000, 2022

5.1.1. Ubicación Geográfica

La quinta experimental "La Argelia" de la Universidad Nacional de Loja se encuentra a una altura promedio de 2 100 m.s.n.m. en las coordenadas 4°02'19''S y 79°11'58''O.

5.1.2. Ubicación Ecológica

Dentro de su información climática según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2014 – 2022) el cantón Loja posee un tipo de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo. La temperatura media anual es de 15 °C y su precipitación media anual es 956,4 milímetros,

correspondiente a la información climática de la Estación del instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI) La Argelia – Loja.

5.2. Materiales y equipos

5.2.1. Materiales de campo

- Cartografía del sitio de estudio.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Tabla Munsell.
- Barreno.
- Martillo geológico.
- Gps manual.
- Gps diferencial
- Estación total

5.2.2. Materiales de laboratorio y equipos

- Flexómetro.
- Cilindros infiltrómetros.
- Cilindros kopecky.
- Clinómetro.

5.3. Metodología para el primer objetivo

Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo y determinar los requerimientos hídricos del cultivo en el sistema agroforestal con café (Coffea arabica L.).

5.3.1. Reconocimiento de la fuente de agua y área del sitio de estudio

Levantamiento topográfico: Se tomó en cuenta la asignación de coordenadas sobre la superficie terrestre Zona 17 Sur DATUM WGS 84 en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Con ayuda del equipo GPS diferencial, se realizó la toma de puntos de partida y con la estación total se procedió hacer el levantamiento topográfico, 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 obtenidos todos los datos del levantamiento se los descargó y procesó a través de un software donde se obtuvo la topografía con curvas de nivel, permitiendo establecer los desniveles del terreno.

5.3.2. Descripción del perfil del suelo

Para la descripción del perfil del suelo, se utilizó la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos del USDA (2014); para ello, se realizó una calicata de 1,20 x 1,20 m y 1,00 m de profundidad, donde se delimitó cada horizonte; de cada uno de los horizontes se tomó muestras de suelo con corte trasversal y se realizó la descripción del color, ensayos de campo rápidos para determinar la textura del suelo.

5.3.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

La metodología empleada para determinar las constantes hidrofísicas de las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas se presenta a continuación:

- *Saturación:* para esto se realizó la recolección de muestras no disturbadas con la ayuda de un barreno y los cilindros kopecky de 100 cm³, una vez que se llevarón las muestras al laboratorio, se procede a saturarlas hasta que la parte superior del cilindro se cubrió de agua. Considerando así que la muestra se encuentra a pF = 0, que en términos de volumen es igual a la porosidad total.
- *Capacidad de campo y punto de marchitez permanente:* para obtener la CC y PMP se tomaron muestras alteradas con la ayuda de un martillo geológico y fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de Agrocalidad de la ciudad de Quito con la finalidad de emplear los análisis por el método de la centrifuga.
- *Densidad aparente:* se determinó mediante el método del anillo volumétrico, que consistió:

Con la recolección de muestras de suelo inalteradas, mismas que fueron pesadas antes y después de ser colocadas en la estufa, a 105 °C por 48 horas. Los valores obtenidos se remplazaron en la siguiente fórmula:

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

5.3.3.1. 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 (Escobar-Perea et al., 2021).

5.3.3.2. Curva de retención de humedad del suelo. Una vez obtenidos los resultados de las condiciones hidrofísicas del suelo, se graficó la curva de retención de humedad del suelo, donde se ubica en el eje de las ordenadas la energía con la que el agua es retenida en el suelo, mientras en el eje de las abscisas se ubica la humedad en base al volumen.

5.3.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Para realizar dicha evaluación se utilizó el diagrama triangular de evaluación de condiciones físicas del suelo, donde se relaciona los valores porcentuales del volumen de poros físicamente inertes (VPFI), el agua aprovechable (AA) y capacidad de aireación (CA), (Anexo 2) de tal manera que se pueda obtener los parámetros que permiten clasificar la condición física del suelo para el correcto desarrollo del cultivo (Valarezo et al., 1998).

a. Agua aprovechable (AA).

Este parámetro se determinó en base a las diferencias de humedad entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) (Valarezo et al., 1998).

$$\% \theta \text{ AA} = \% \theta \text{ CC} - \% \theta \text{ PMP}$$

b. Capacidad de aireación (CA).

Por su parte la capacidad de aireación (CA), se la obtuvo en base a la diferencia entre la saturación y la capacidad de campo

$$\% \theta \text{ CA} = \% \theta \text{ Saturación} - \% \theta \text{ CC}$$

Donde:

$\theta \text{ CA}$: Capacidad de aireación en términos de volumen.

$\theta \text{ Saturación}$: Saturación en términos de volumen.

$\theta \text{ CC}$: Capacidad de Campo en términos de volumen.

c. Volumen de poros físicamente inertes.

Para la determinación de VPFI se consideró el volumen de sólidos del suelo y el porcentaje de poros inútil (Valarezo et al., 1998).

$$\% \theta_{VPFI} = 100 - (AA + CA)$$

Donde:

θ_{VPFI} : Volumen de poros físicamente inertes.

AA : Agua Aprovechable.

CA : Capacidad de Aireación.

5.3.5. *Velocidad de infiltración*

Para determinar la infiltración se utilizó el método de los cilindros infiltrómetros simples con tres repeticiones. Es importante indicar que anteriormente todo el terreno se encontraba en un estado de reposo; se procedió de la siguiente manera:

- Se limpió el terreno y se procedió a instalar el anillo de diámetro mayor y luego el de menor diámetro, se introdujeron a 10 cm y se nivelaron.
- Se llenó con agua los anillos y se registran las lecturas de la variación del nivel de agua en el anillo interno.
- Las lecturas se tomaron a 5, 10, 15 y 30 min, cada intervalo por una hora respectivamente, es importante indicar que el descenso del nivel de agua se debe estabilizar.
- Para determinar la velocidad de infiltración básica se utilizó la ecuación de Kostiakov.

5.3.5.1. Infiltración acumulada. Calvache Ulloa (2012) demostró que con la ayuda de la ecuación de Kostiakov; se realiza la curva de infiltración acumulada en una hoja de cálculo, tomando en cuenta los valores del tiempo acumulado, mismos ubicados en el eje X; y la lámina acumulada en el eje Y; mediante el siguiente modelo matemático:

$$I_{acum} = A * t^B$$

Donde:

I_{acum}: Infiltración acumulada (cm).

A y B: Parámetros de la ecuación (adimensional).

t: Tiempo (min).

5.3.5.2. Infiltración instantánea. Una vez obtenida la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada, se determinó la ecuación potencial negativa o dicho de otra manera, lo correspondiente a la infiltración instantánea:

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

Donde:

I_{inst}: Infiltración instantánea (cm).

t: Tiempo (min).

a y b: Constantes negativas (adimensional) las constantes a y b se determinan mediante el despeje de las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{a}{b + 1} \rightarrow a = A(b + 1)$$

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

5.3.5.3. Velocidad de infiltración básica. La velocidad de infiltración básica se originó de la ecuación de la infiltración instantánea multiplicado por un factor de conversión con la finalidad de poder expresarlo en horas (Calvache Ulloa, 2012).

$$I_{bas} \left(\frac{mm}{h} \right) = a [(-600 b)]^b$$

Donde:

I_{bas}: Infiltración básica (mm/h).

a y b: Constantes negativas (adimensional).

5.4. Metodología para el segundo objetivo

Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental “La Argelia”.

5.4.1. Diseño Agronómico

El diseño agronómico requirió información que permita establecer los parámetros adecuados para planificar el uso eficiente del agua en el cultivo de café durante los periodos de mayor demanda. Esta información incluye:

- a) Los datos del suelo obtenidos mediante análisis que permiten calcular la lámina edáfica a partir de la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP), la densidad aparente (Da) y la textura.
- b) Los datos meteorológicos de la estación “La Argelia” correspondientes a un periodo de 22 años (1990 - 2012), que incluyen la temperatura y la radiación solar, variables necesarias para estimar la evapotranspiración de referencia con el software CROPWAT.
- c) Los datos agronómicos del cultivo de café, tales como: la variedad, la densidad de siembra, la profundidad media de la raíz y el coeficiente de cultivo (kc) determinado según las etapas fenológicas.
- d) La etapa actual del cultivo de café en el sitio de estudio, que es la etapa inicial.
- e) La densidad de siembra adoptada: 1,25 m entre plantas y 2,0 m entre hileras.
- f) Los catálogos de los goteros que especifican la presión, el caudal, el distanciamiento entre goteros y el tipo (no compensado).

5.4.2. Necesidades hídricas de los cultivos

La determinación de las Necesidades hídricas se realizó con la ayuda de la información meteorológica recolectada de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) e información del cultivo como el Coeficiente Kc y las etapas fenológicas.

a. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Para el cálculo de este parámetro se utilizó el método propuesto por la FAO, el cual plantea que la ET_c es el producto entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c) (Zúñiga, 2004).

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Donde:

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹).

K_c: Coeficiente del cultivo (adimensional).

ET_o: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día⁻¹).

b. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se determinó con la ayuda del software de la FAO (CROPWAT) en el cual se utilizó la información meteorológica obtenida de las estaciones cercanas a la zona de estudio, los datos que se requieren son: Temperaturas máximas y mínimas, Humedad Relativa, viento e insolación, dicho software se basa en la metodología de Penman Monteith Modificado.

c. Coeficiente del cultivo (K_c)

Se graficaron las curvas del K_c del cultivo para café, para lo cual se toma como referencia las etapas fenológicas y los K_c emitidos por la FAO (2006) Con la fecha de siembra y el ciclo del cultivo, se gráfica ingresando en el eje “X” el periodo de cada fase, correspondiente al número de días de cada mes, representando la fase fenológica del cultivo; y, en el eje “Y” los valores del coeficiente de cultivo, y con este resultado se obtuvo un K_c con un periodo de cada 15 días por mes.

5.4.3. Precipitación efectiva

La Precipitación efectiva se realizó mediante la ejecución del software CROPWAT de la FAO, mismo que aplica la ecuación de USD Soil Conservation Service (2010), en donde se requiere de la precipitación media mensual en este caso de la estación “La Argelia”.

5.4.4. *Requerimientos de riego*

Para realizar el cálculo de los requerimientos de riego se utilizó la siguiente ecuación (Solórzano et al., 2015).

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

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (mm/mes).

ETc: Evapotranspiración de referencia (mm/mes).

5.4.5. *Necesidades Brutas (Nb)*

Según el Instituto para la Renovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI, 2019) expresa que las necesidades brutas son el cociente entre el fraccionamiento del balance hídrico con la eficiencia del sistema de riego (Ea), empleando la expresión.

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

Donde:

Nb: Necesidades brutas (mm/día).

ETc: Evapotranspiración de cultivo (Kc).

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

5.4.6. *Caudal Ficticio continuo*

Se determinó a partir de las necesidades hidricas brutas, en base a todos los dias del mes para cubrir la demanda evaporativa, para el cálculo se ejecuto la siguiente ecuación (INTAGRI, 2019).

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

Donde:

qc: Caudal continuo l/s/ha.

Nb: Necesidades brutas del mes de máxima exigencia hídrica del cultivo (mm/mes).

5.4.7. Necesidades netas de riego

Para la determinación de este parametro se tomó en cuenta las necesidades brutas y se efectua según la metodología de Pizarro (1996) donde propone que las necesidades de riego deben ser corregias por:

a. Localización. Para las correcciones por (Kl) se consideró la fracción del área sombreada con respecto a la superficie que moja, con la ayuda de las ecuación. Luego se procede a multiplicar la superficie total proyectada de la planta considerando el diámetro de la copa del cultivo de café, se utilizo la siguiente ecuación:

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

Donde:

A: Área sombreada de la planta (m²).

Dm²: 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 AljiburyKl = 1,34 A

Ecuación de Decroix Kl = 0,1 + A

Ecuación de Hoare Kl = A + 0,5(1 - A)

Ecuación de KellerKl = A + 0,15(1 - A)

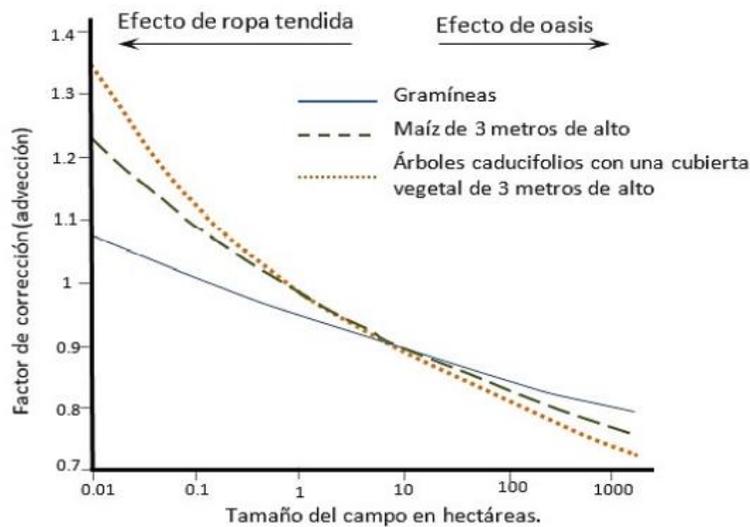
Determinados los valores de Kl, se eliminan los extremos (valores máximo y mínimo) y se determina el promedio de los dos valores restantes.

b. Condiciones locales. Se refiere a los efectos que se ocasionan debido a las condiciones del sitio en base a la evapotranspiración corregida, por lo tanto se obtiene:

- Variación climática (K_v): se consideró el criterio de Hernández Abreu que consiste en aplicar un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20. Para este diseño se tomo que $K_v = 1,20$.
- Variación por advención (K_a): Se lo obtuvo a partir de la superficie que se va a regar y de la naturaleza del cultivo (Figura 3).

Figura 3

Variación por factor de corrección por advención.



Fuente: Pizarro (1996).

Para la determinación de la evapotranspiración corregida se multiplica los valores de corrección obtenidos con la Evapotranspiración del cultivo (ET_c). Empleando la siguiente ecuación:

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

Donde:

Etrl: Evapotranspiración corregida

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Kl: Variación por localización

Kv: Variación climática

Ka: Variación por advección

5.4.8. Necesidades Netas de Riego (NT)

Se realizó el cálculo de las necesidades netas a partir del balance hídrico y del valor obtenido de la Evapotranspiración Corregida (Etrl) aplicando la fórmula:

$$Nn = Etrl - (Pe + Gw + \Delta w)$$

Donde:

Etrl: Evapotranspiración corregida (mm/día).

Pe: Precipitación efectiva (mm).

Gw: Aporte capilar, (mm).

Δw : Variación en el almacenamiento de agua (mm).

5.4.9. Necesidades totales

Una vez obtenido el valor de las necesidades netas se realizó el cálculo considerando las pérdidas por percolación (K) y la eficiencia de aplicación (Ef) tomando en cuenta que para el riego por goteo Ef= 90% según MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2015).

$$K = 1 - ef.aplicacion$$

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

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

Donde:

- Nn: Necesidades netas mm/día.
 k: Coeficiente de pérdidas por percolación.
 Cu: Coeficiente de uniformidad (Cu) valor 0,9.

5.4.10. Necesidades diarias por árbol

Se calculó de acuerdo al marco de riego (mm/día):

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

Donde:

- Nt: Necesidad total (mm/día).
 a: Separación entre plantas (m).
 b: Separación entre hileras (m).

5.4.11. Parámetros de riego

- a) **Área mojada por gotero:** Primero se determinó el diámetro mojado (Ds), para ello se consideró la textura del suelo y el caudal en l h⁻¹ del emisor previamente seleccionado. Se utilizó la siguiente ecuación. (MINAGRI, 2015).

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

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

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

- b) **Número de goteros por planta;** Se consideró que la planta de café es leñosa por lo que se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

n_e : Número de goteros por planta (u).

P: Porcentaje de suelo mojado propuesto por Keller (1978) en Pizarro (1996) en casos de árboles para clima húmedo 20%.

S_p : Disposición entre plantas (m^2).

A_e : Área mojada del gotero (m^2).

c) **Separación entre goteros:** De acuerdo con la metodología utilizada se toma un traslape (S) mínimo recomendado del 15 % y máximo 30 %; y el radio húmedo (R_m) del emisor según la textura del suelo. (MINAGRI, 2015).

$$S_e = R_m \left(2 - \frac{S}{100} \right)$$

Donde:

S_e : Separación entre emisores (m).

R_m : Radio húmedo (m).

S: Traslape recomendado (%).

d) **Porcentaje de superficie mojada real:** el porcentaje se lo determinó con la fórmula:

$$P = \frac{N_e * 100 * A_e}{S_p}$$

Donde:

N_e : Número de goteros por planta (u).

A_e : Área mojada del gotero por planta (m^2).

S_p : Disposición de plantas en (m^2).

e) **Dosis, frecuencia y tiempos de riego.**

- **Lamina neta:** Para determinar la cantidad de agua que se debe reponer se emplea la siguiente ecuación:

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

Donde:

Ln: Lámina de riego (m³/ha).

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/m³).

DMP: Déficit permisible de manejo: 45 %.

f) **Frecuencia de riego:** Determina cuando regar, es decir cada que tiempo se debe aplicar el agua en el suelo, para reponer la lámina de riego, para el calculo se utilizó la siguiente expresión:

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

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días).

Ln: Lamina neta o lámina de agua rápidamente aprovechable (mm).

Nt: Necesidad total de riego (mm/día).

g) **Tiempo de riego:** Se refiere al tiempo en el que se debe aplicar la lámina rápidamente aprovechable al suelo, con la finalidad de que el cultivo reponga el consumo de evapotranspiración y el suelo se encuentre a capacidad de campo. Se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

t: Tiempo de riego (h/día).

Nt: Necesidades totales (mm/día).

n_e : Número de emisores por planta (u).

Qa : Caudal del gotero (l/h).

Fr: Frecuencia de riego (día).

5.5. Diseño Hidráulico

Se determinaron los componentes, dimensionado de la red y su distribución, con la finalidad de satisfacer las necesidades hidricas del cultivo en un tiempo determinado (Fuentes, 2002).

5.5.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria del sistema de riego

a. Caudal de la tubería lateral y secundaria

Para la determinación del caudal de las tubería lateral se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ql = Qa * Ngl$$

Donde:

Ql : Caudal del lateral (l/s).

Qe: Caudal del emisor (l/s).

Ngl: Número de goteros por lateral (u).

Por otro lado para el cálculo de la tubería secundaria se aplicó la siguiente formula:

$$Qs = Qe * Ne$$

Donde:

Qs: Caudal de la secundaria (l/s).

Ql: Caudal del lateral (l/s).

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

b. Perdidas de carga máxima admisible

Se realizó el calculo en base a lo propuesto por Fuentes (1998), el cual expresa la siguiente formula para la determinación de la pérdida de presión permisible en la tubería lateral y secundaria (Martinez, 2014).

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

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 no compensante: 0,5.

Las pérdidas de carga máxima admisible se reparte por igual en los laterales y la red de alimentación. Para el cálculo del diámetro de un lateral o de la tubería secundaria se elige un diámetro cualquiera, se calcula la pérdida de carga (h) y se comprueba si esa pérdida de carga es inferior a la admisible (h_{\max}) (Fuentes,1998).

c. Ecuación del emisor.

La ecuación característica de un emisor es la siguiente:

$$q = K h^x$$

Dónde:

- q : caudal del emisor ($l\ h^{-1}$)
 K : coeficiente de descarga, característico de cada gotero (adimensional)
 h : presión a la entrada del emisor (m.c.a.)
 x : exponente de descarga característico de cada gotero (adimensional), que indica la sensibilidad de los emisores a la variación de presión, En este tipo de emisores el exponente de descarga x de la ecuación del emisor varía entre 0,2 a 0,8 (INEH, 2013).

Sin embargo, el gotero que se ha seleccionado para el presente diseño es de la marca Naandanjain J-Turbo Key Plus, el cual se adapta a las condiciones topográficas, debido a que este tipo de goteros se suelen aplicar en terrenos llanos, y, de acuerdo al catálogo no se tiene una ecuación del gotero sugerida por el fabricante, por esta razón, se obtuvo dicha ecuación de acuerdo a las descargas de los caudales en $l\ h^{-1}$ considerando las diferentes presiones que van en un rango de 5,9 a 35,00 mca. Utilizando estas variables se realizó una regresión, obteniendo la gráfica de presión vs descarga y por ende el coeficiente K , el exponente x , y consecuentemente la ecuación del gotero como se muestra en el Anexo 7.

d. Cálculo de las pérdidas lineales por fricción (h_f)

Se considero la siguiente ecuación debido a que las tuberías laterales y secundarias presentan salidas múltiples, se utilizo la ecuación general derivada de Hazen y Williams.

$$hf = J * L * F$$

Donde:

hf: Pérdida de carga en la tubería (m).

J: Gradiente hidráulico (m m.-1).

L: Longitud de la tubería (m).

F: Coeficiente de Christiansen (adimensional).

e. Cálculo del Coeficiente de Christiansen (F)

El coeficiente de Christianse (F) se lo considera únicamente para las tuberías de salida múltiple, debido a que el caudal disminuye conforme sale por los goteros lo que provoca un decrecimiento en las pérdidas de carga y es necesario realizar una corrección para lo cual se usa dicho coeficiente. Se la emplea en el dimensionamiento de las tuberías laterales y terciarias principalmente; para ello se utilizó la siguiente fórmula (INEH, 2013).

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

Donde:

F: Factor de Christiansen (adimensional).

B: Depende del tipo de material de la tubería: P.V.C (1,8); polietileno (1,75); aluminio (1,9)

n: Número de salidas en la tubería (u).

f. Velocidad del agua: Para calcular la velocidad del agua en las tuberías, se consideró el siguiente rango:

$$0,5 \text{ m/s} < V < 2,5 \text{ m/s}$$

Velocidades superiores a los 2,5 m/s dan lugar a 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 podrían ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos debida a la escasa velocidad de movimiento del agua (INEH, 2013). La velocidad media del flujo se calculó a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

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

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

g. Presión al inicio del lateral

De acuerdo al presente diseño del sistema de riego, la posición de los laterales es descendente; consecuentemente, como las pérdidas por fricción (hf) en el lateral son menores al desnivel de lateral ($hf < Hg$); se aplican las siguientes ecuaciones para determinar la presión al inicio y final del lateral. (Martinez, 2014)

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

Donde:

P_o : Presión a la entrada del lateral (mca).

PN : Presión nominal del gotero (m).

hfl : Pérdidas de carga en el lateral (mca).

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

h. Presión al final del lateral

Se calculó con la ecuación.

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

Donde:

P_o : Presión al final del lateral (mca).

P_N : Presión nominal de funcionamiento del gotero (m).

h_{fl} : Pérdidas de carga en el lateral (mca).

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

i. Presión al inicio de la tubería secundaria: Se utilizó la siguiente expresión.

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

Donde:

P_o : Presión a la entrada de la secundaria (mca).

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

h_{fl} : Pérdidas de carga en la secundaria (mca).

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

5.5.2. Diseño de la tubería principal

a. Caudal de la tubería principal: Se consideró la siguiente ecuación.

$$Q_p = Q_s * N_l$$

Donde:

Q_t : Caudal de la principal (l/s).

Q_s : Caudal de la tubería secundaria (l/s).

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

b. Pérdidas de carga por fricción longitudinal:

Se realizó el cálculo en base al criterio expuesto por Hazen – Williams para tuberías de PVC o Polietileno, el cual expresa:

$$hf = J * L$$

Donde:

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

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

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.-1).

C : Coeficiente de fricción.

D : Diámetro interior de la tubería (mm).

5.5.3 Carga dinámica total

Se determinó con la expresión:

$$CDT = P_o + hflt_{s1} + hflt_{s2} + hfl + hfl_{filtro} + hfl_{acc}$$

Donde:

P_o : Presión de operación.

$hflt_{s1}$: Pérdida de carga total en la subunidad 1 (m).

$Hflt_{s2}$: Pérdidas de carga total en la subunidad 2 (m).

$Hflt_{s2}$: Pérdidas de carga total en la subunidad 3 (m).

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

hfl_{filtro} : Pérdidas de carga del filtro (m).

hfl_{acc} : Pérdidas de carga por accesorios (m).

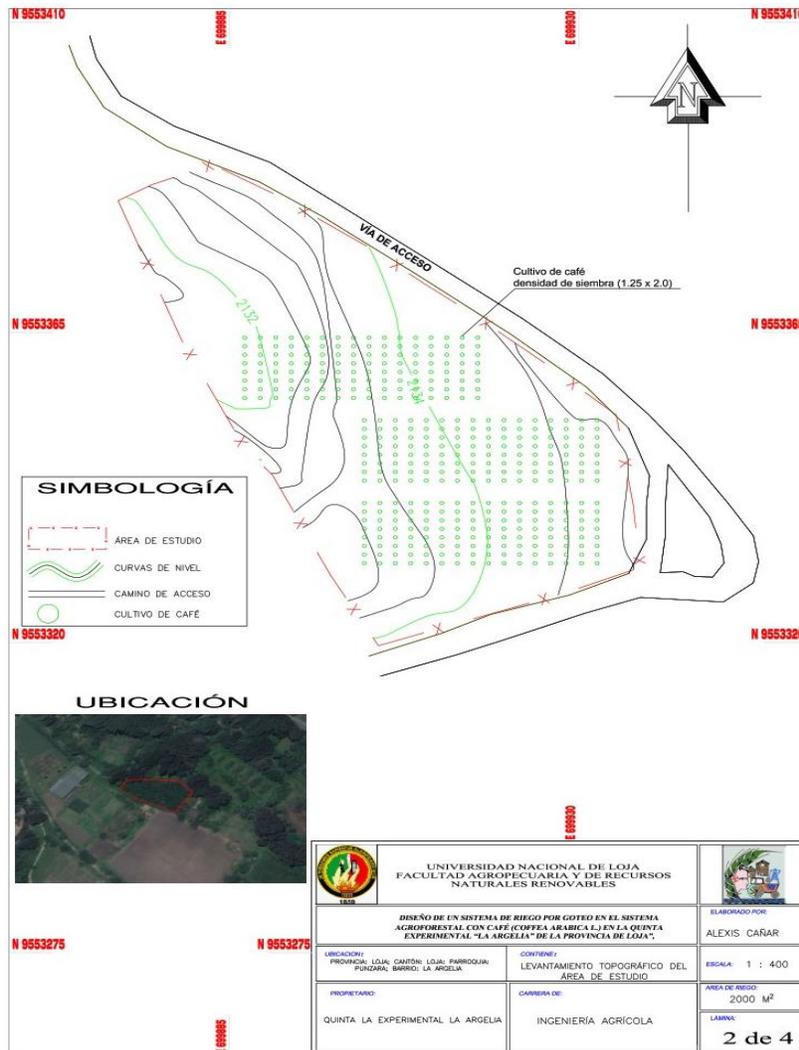
6. Resultados

6.1. Características físicas e hidrofísicas del suelo.

6.1.1. Superficie a regar

Mediante la obtención de la información topográfica a través del programa de diseño y dibujo de ingeniería, se determinó que la superficie total a irrigar es 2000 m², esta superficie se dividió en 3 subunidades de riego con una separación de 1 m entre cada subunidad, Por las características de la planta de café en su estado de desarrollo, la densidad de siembra es de 1,25 m entre laterales y 2,0 m entre plantas, tal como se observa en la Figura 4.

Figura 4
Topografía de la zona de estudio.



6.1.2. Descripción del perfil del suelo

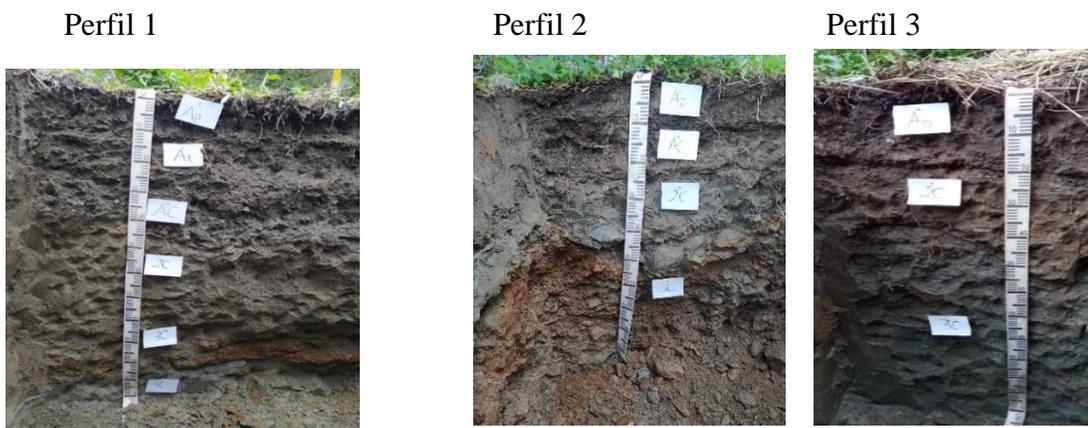
En la tabla 2 se presentan de manera general las características eco-fisiográficas de la zona de estudio, en donde se observa que la zona de estudio corresponde a una terraza aluvial y presentan hasta 6 horizontes a diferentes profundidades efectivas, además los perfiles se muestran en la Figura 5.

Tabla 3
Características eco-fisiográficas del perfil.

Características de la Calicata C1	
Sector	La Argelia
Calicata	C1
Altitud	2160 msnm.
Coordenadas	4°2'19,32'' S 79°11'58,29'' O
Clasif. Soil Taxonomy	
Relieve	Terraza Aluvial
Forma del terreno	Pendiente baja
Pendiente / Forma	3 % / basa
Uso de la tierra	Agricultura
Vegetación	Alisos, Canutillo
Material Parental	Deposito aluvial
Prof. de capa freática	No visible
Pedregosidad superficial	No
Afloramientos Rocosos	No
Drenaje	Pobre

Figura 5

Perfiles de suelo de la zona de estudio.



Como se muestra en la Figura 5, la zona de estudio presenta un suelo joven, muy profundo (120cm) compuesto por dos depósitos bien diferenciados, el primer depósito se encuentra conformado por tres horizontes, el primero corresponde a un Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm, con una textura franco-arenoso (FoAo) y coloración oscura; El segundo horizonte A1 que se extiende desde los 10 cm hasta los 25 cm, de coloración menos oscura y textura franco-arcillo-limosa (FoAcLo); El tercer horizonte AC que va desde los 25 cm hasta los 40 cm, de coloración más clara, textura tacto franco-arenoso (FoAo) de material aluvio-coluvial y el otro depósito se encuentra conformado por los horizontes 2C que va desde los 40 cm hasta los 70 cm, de coloración mucho más clara de textura franco-arenoso (FoAo); El quinto horizonte 3C que se extiende desde los 70 cm hasta los 90 cm de textura Arenoso-franco (AoFo) y coloración clara y un sexto horizonte 4C que va desde los 90 cm hasta los 120 cm, de textura Arenoso-franco (AoFo) y coloración más clara, de material aluvial y textura gruesa. A los 90 cm de profundidad presencia de un bolsón de arena gruesa reducida o con oxido reducción, con una profundidad efectiva de 30 cm, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana (Anexo 4).

Por su parte el segundo perfil es un suelo joven en el que se puede evidenciar la presencia de tres depósitos aluviales, en el cual se ha denominado 3C al más antiguo con un 70% de grava, sin estructura, y con una textura arenosa (Ao), este horizonte va desde los 45 cm hasta los 100 cm, donde se distingue tres coloraciones, el siguiente depósito compuesto por la capa 2C que se

extiende desde los 25 cm hasta los 45 cm, de textura arcillo-limoso (AcLo), de dos tipos de coloración y presencia de manchas, con una fractura gleysada, que denota una lámina de agua colgada, observándose en la parte inferior una capa de suelo oxidado y el depósito más reciente formado por los horizontes Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm de textura franco (Fo), de coloración oscura y un AC que va desde los 10 cm hasta los 25 cm de textura franco-arcilloso-limoso (FoAcLo) de coloración oscura, estructurados y sin presencia de gravas.

Así mismo, en el tercer perfil se ha evidenciado que es un suelo de origen aluvial, muy profundo (120 cm), integrado por tres capas, un horizonte Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 25 cm con bajo contenido de materia orgánica, un 2C que va desde los 25 cm hasta los 50 cm y un 3C que empieza desde los 50 cm hasta llegar a los 120 cm, suelo compactado, con profundidad efectiva que llega a los 60 cm, de textura arcilloso-limoso (AcLo), con gran cantidad de manchas que evidencia un mal drenaje, sin presencia de grietas, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana.

6.1.2.1. Descripción individual de los horizontes o capas.

Perfil 1

- a. (Ap) 00 – 10** Color Gris muy oscuro (2,5 Y 3/1) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto franco-arenoso (FoAo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos pocos visibles (gravas) angulares y planos; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástico y friable; cantidad de poros: pocos y diámetro mediano (2-5 mm); cantidad de raíces medias, finas y comunes; límite del horizonte neto y de topografía plana.
- b. (A1) 10 – 25** Gris muy oscuro (5 Y 3/1) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto franco-arcillo-limoso (FoAcLo); estructura débil en bloques subangulares y finos; fragmentos frecuentemente visibles (gravas) subangulares y angulares; consistencia en mojado adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: frecuentes y diámetro fino; cantidad de raíces finas, gruesas y muy pocas; límite de horizonte neto y topografía plana.
- c. (AC) 25 – 40** Gris oliva oscuro (5 Y 3/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto franco-arenoso (FoAo); estructura débil en bloques subangulares y finos; fragmentos rocosos frecuentemente visibles (gravas) subangulares y angulares; consistencia en mojado ligeramente

adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: frecuentes y diámetro fino; sin presencia de raíces; horizonte brusco y topografía ondulado.

- d. **(2C) 40 – 70** Gris oliva (5 Y 4/2) color en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto franco-arenoso (FoAo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: muchos de diámetro fino y medianos; sin presencia de raíces; horizonte neto y topografía ondulado; presencia de fragmentos minerales: piritas.
- e. **(3C) 70 – 90** Marrón grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arenoso-franco (AoFo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado no adherente, en húmedo no plástico y muy friable; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces; sin horizonte.
- f. **(4C) 90 – 110** Gris rojizo oscuro (2,5 YR 4/1) en húmedo; muchas manchas medianas, definidas y límite de nitidez neto; textura al tacto arenoso-franco (AoFo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado no adherente, en húmedo no plástico y muy friable; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces.

Perfil 2

- a. **(Ap) 0 – 10** Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; sin presencia de manchas, textura al tacto franco (Fo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: muchos y de diámetro fino; raíces finas y comunes, límite de horizonte neto y topografía plana.
- b. **(AC) 10 – 25** Gris oliva oscuro (5 Y 3/2) en húmedo; pocas manchas pequeñas, indistintas y nitidez difusa; textura al tacto Franco-arcillo-limosa (FoAcLo); estructura débil en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo plástica y friable; cantidad de poros: muchos de diámetro muy grueso y pocos de fino; presencia de pocas raíces finas, así como de medias y comunes; límite de horizonte neto y topografía plana.

- c. **(2C) 25 – 45** Presencia de dos colores gris oscuro (2,5 Y 4/1) y (10 YR 4/2) marrón grisáceo oscuro en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arcilloso-limoso (AcLo); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: muchas gravas y pocas piedras de forma redonda; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces; límite neto y topografía interrumpida.

- d. **(3C) 45 – 100** Presencia de tres colores gris oscuro (10 YR 4/1), (10YR 4/2) marrón grisáceo oscuro y (7,5 YR 4/6) marrón fuerte en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arenosa (Ao); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: frecuentes gravas, pocas piedras redondas y arena; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos y diámetro mediano; sin presencia de raíces; presencia de fragmentos minerales (piritas).

Perfil 3

- a. **(Ap) 0 – 25** Color marrón muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto arcilloso-limoso (AcLo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable, en seco muy firme; cantidad de poros: muchos y diámetro fino; pocas raíces medias y finas; límite de horizonte neto y topografía ondulada; baja contenido de materia orgánica.

- b. **(2C) 25 – 50** Color gris (Gley 1 4/10 Y) en húmedo; muchas manchas pequeñas y medias, destacadas y nitidez neta de color marrón fuerte (7,5 YR 4/6) en húmedo; textura al tacto arcilloso-limoso (AcLo); estructura masiva; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable; cantidad de poros: muchos y diámetro fino a medios; raíces finas y muy pocas; límite de horizonte neto y topografías ondulada.

- c. **(3C) 50 – 120** Color gris (Gley 1 4/10 Y); frecuentes manchas medianas, indistintas, difusas de color amarillo parduzco (10 YR 6/6) en húmedo; textura arcilloso-limoso (AcLo); estructura masiva; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable; cantidad de poros: muchos y diámetro finos, medianos y grandes; sin presencia de raíces.

6.1.3. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo

En la Tabla 3 se presentan los contenidos de humedad, densidad aparente y textura en promedio de los 3 primeros horizontes de cada perfil del suelo.

Tabla 4

Resultados de las características físicas e hidrofísicas del suelo.

Horizonte	Profundidad cm	Saturación (%) pF 0	CC (%) pF = 2,52	PMP pF = 4,2	Da g/ cm ⁻³	textura
P1 Ap	10	44,82	27,31	14,84	1,23	Fo
P2 Ap	10	44,10	21,16	11,50	1,20	Fo
P3 Ap	25	45,98	27,18	14,77	1,17	FoLo
Promedio		44,96	25,21	13,79	1,20	

Nota. Datos correspondientes a los resultados de constantes hidrofísicas (2022).

La textura en el primer horizonte del perfil 1 presenta un contenido de arena 47,4 %, limo 38 % y arcilla 14,56 %, corresponde a un suelo Franco (Fo); mientras que en el perfil 2 el horizonte Ap, presenta: arena 38,7%, limo 44,7 % y arcilla 16,56 % por lo tanto, se clasifica como un suelo franco (Fo), por su parte en el perfil 3 su primer horizonte presenta: arena 30,7 %, limo 50,7 % y arcilla 18,56 % en este perfil existe mayor presencia de limo y su clasificación es franco limoso (FoLo), por su parte el perfil 1 presenta porcentajes de Saturación, CC y PMP son de 44,82; 27,31; 14,84; en su respectivo orden, mientras que para el perfil 2 contiene Saturación (44,10), CC (21,16) y PMP (14,84); de la misma manera en el perfil 3 Saturación (45,98), CC (27,18) y PMP (14,77).

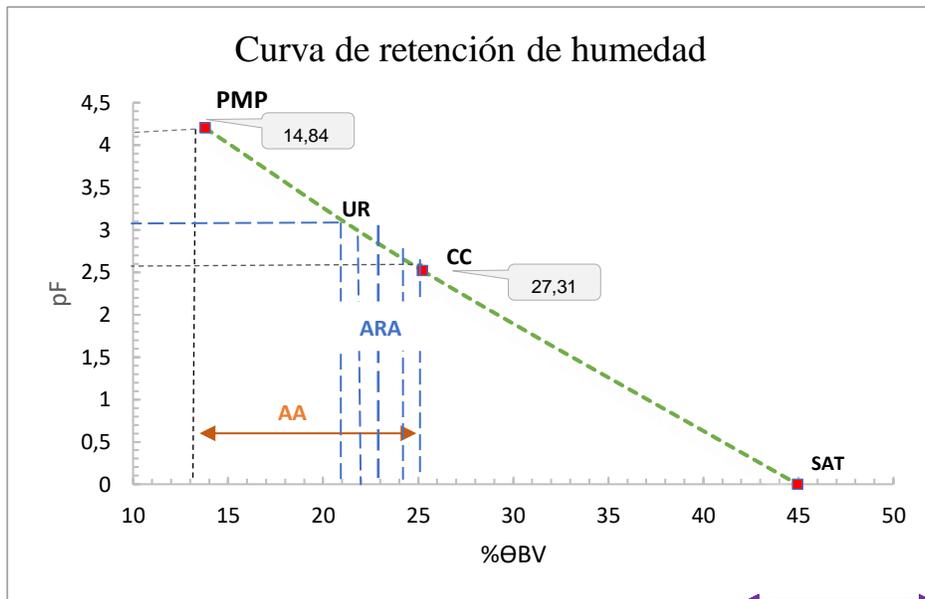
6.1.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo y curva de retención de humedad

En la Figura 6 se observa la curva de retención de humedad del primer horizonte del primer perfil se puede observar los resultados de los contenidos de humedad a diferentes tensiones y por su parte también los valores de agua aprovechable, el cual presenta un valor de 12,47 %, capacidad de aireación 17,51 % y volumen de poros físicamente inertes igual a 70,02%, de la misma manera en el primer horizonte del segundo perfil se tuvo valores de agua aprovechable de 9,66 %,

capacidad de aireación 22,94 % y volumen de poros físicamente inertes igual a 67,40% (Figura 7) y finalmente el tercer perfil presenta valores de AA (12,41), CA(18,80), y VPFI (68,79) (Figura 8).

Figura 6

Curva de retención de humedad del perfil 1.



Elaborado por: El autor

Figura 7

Curva de retención de humedad del perfil 2.

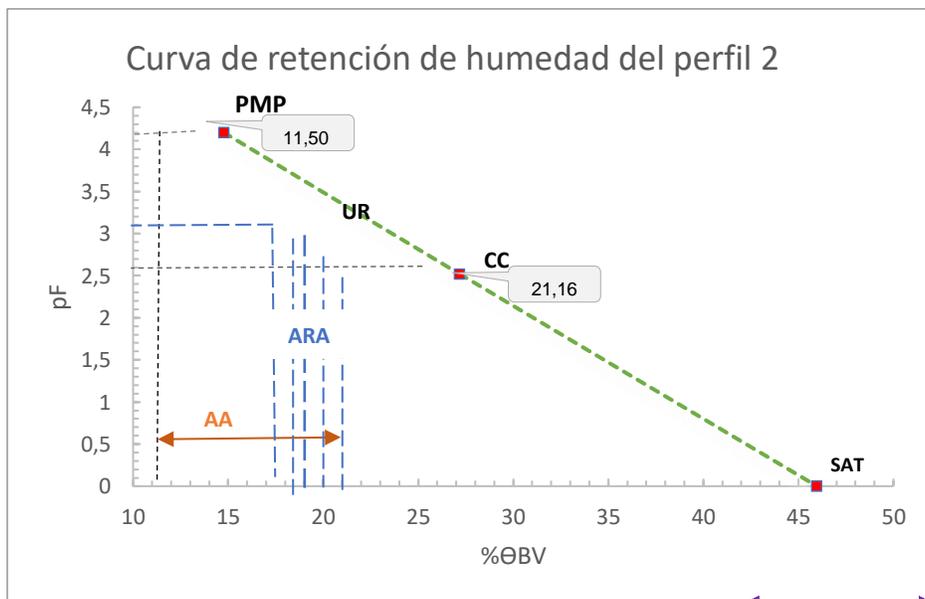
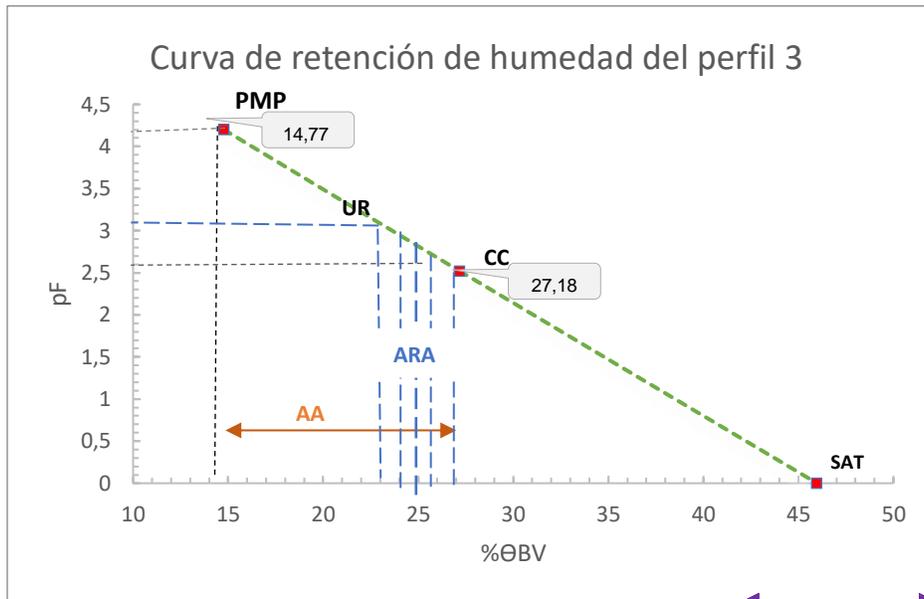


Figura 8

Curva de retención de humedad del perfil 3.



Elaborado por: El autor

En la Tabla 4, se presenta los resultados de los análisis físicos de las subunidades de riego, en donde se muestra que el contenido promedio entre los 3 perfiles presenta valores de Agua Aprovechable (AA) tiene una media de 11,51 %, Capacidad de Aireación (CA) de 19,75 % y Volumen Físicamente Inerte (VFI) 68,74 %; según el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, las subunidades de riego corresponden a la zona II correspondiente a una clase pobre.

Tabla 5*Evaluación de las condiciones físicas del suelo.*

EQUIVALENCIA					
HORIZONTE	AA	CA	VFI	ZONA	CLASE
	%	%	%		
P1 Ap	12,47	17,51	70,02	II	Pobre
P2 Ap	9,66	22,94	67,40	II	Pobre
P3 Ap	12,41	18,80	68,79	III	Medio
PROMEDIO	11,51	19,75	68,74		

6.1.5. Velocidad de infiltración del agua en el suelo

Una vez finalizada la prueba de campo y realizado el procedimiento correspondiente a la información que se obtuvo que el valor promedio de la velocidad de infiltración básica de las tres repeticiones realizadas en las subunidades de riego es 80,7 mm/h, como se evidencia en la Tabla 5.

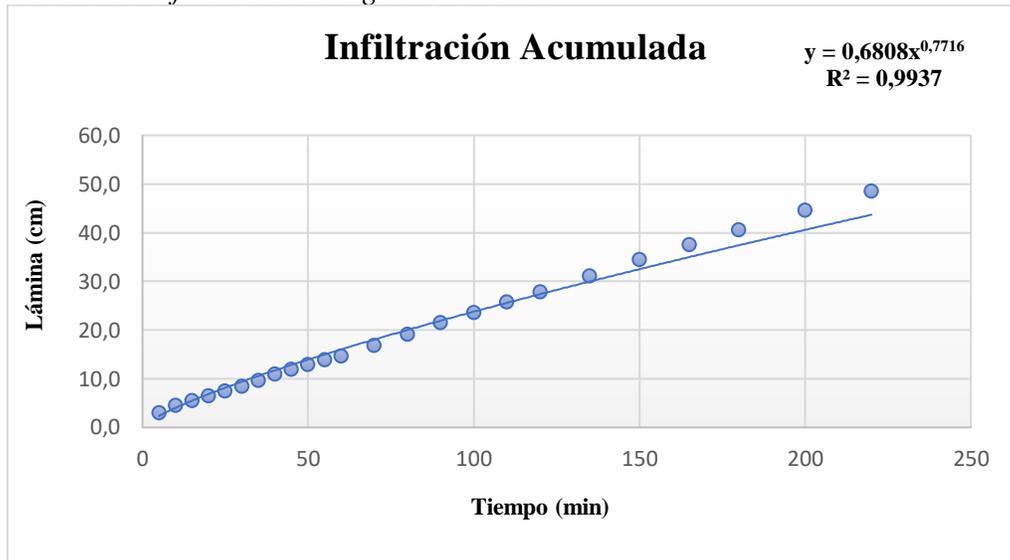
Tabla 6*Determinación de la velocidad de infiltración básica*

Unidad de riego	Primera Prueba (mm/h)	Segunda Prueba (mm/h)	Tercera Prueba (mm/h)	Promedio (mm/h)
1	52,1	102,4	87,7	80,7

En la Figura 9 se muestra el proceso de infiltración en el suelo de las subunidades de riego, para el mismo tiempo acumulado, en el que se pudo evidenciar una mayor infiltración en la segunda prueba puesto que en 1 hora se infiltró 102,4 mm, mientras que en la primera prueba se da el valor más bajo 52,1 mm/h, este valor puede darse debido a la compactación del terreno, se obtuvo un promedio de 80,7 mm/h, considerando que existen gran porcentaje de poros, lo que provoca una rápida infiltración del agua.

Figura 9

Curva promedio de infiltración del agua en el suelo.



6.2. Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental “La Argelia”

6.2.1. Diseño Agronómico

Se determinaron los requerimientos hídricos para la época de máxima demanda de agua para 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.

6.2.2. Necesidades hídricas de los cultivos

6.2.2.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o). Con los datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar tomados de la estación meteorológica de La Argelia y por medio del método de Penman Monteith modificado a través del programa CROPWAT 8.0 de la FAO se obtuvieron los datos de E_{to}, los cuales se presentan en la Tabla 6.

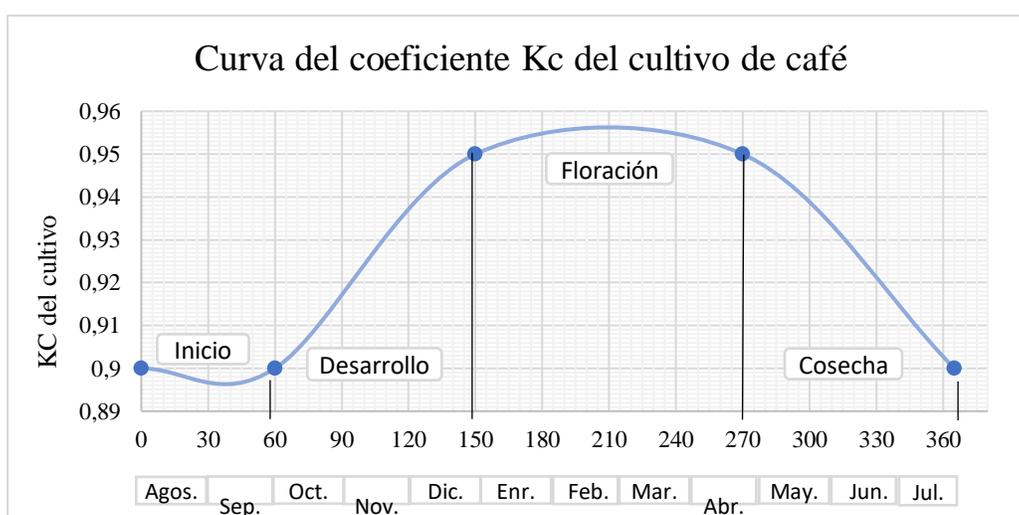
Tabla 7
Evapotranspiración de referencia ETo.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm/mes)	99,51	91,8	100,7	96,3	100,7	96,3	99,51	109,1	111,9	114,1	109,2	105,4
ETo (mm/día)	3,21	3,28	3,25	3,21	3,25	3,21	3,21	3,52	3,73	3,68	3,64	3,40

Los valores máximos y mínimos de la evapotranspiración de referencia para la zona de estudio son de 3,73; mm día⁻¹ para el mes de septiembre y 3,21 mm día⁻¹ correspondiente a los meses de enero, abril, junio y julio, el valor promedio de 3,38 mm día⁻¹.

6.2.2.2. Coeficiente del cultivo (Kc). Debido a que el diseño de riego está orientado a satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en la etapa de mayor necesidad de agua, el coeficiente del cultivo (Kc) corresponde al máximo valor mensual, para realizar la gráfica de la curva de Kc (Figura 10) se utilizó los datos proporcionados por la FAO (2006) en base a las diferentes etapas fenológicas, como se observa en la Figura 8: 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.

Figura 10
Coeficiente del cultivo de Café (Kc).



6.2.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ETc). La evapotranspiración de cultivo (ETc) depende de las condiciones climatológicas de la zona de estudio. En la Tabla 7 se presentan los valores de ETc, el mes de julio presenta el valor más bajo, con 2,92 mm día⁻¹. En cambio, en el mes de noviembre, el valor de ETc es el más alto, con 3,37 mm día⁻¹. Estos valores de evapotranspiración indican que los meses que requieren mayor demanda de agua son septiembre, octubre y noviembre. Por esta razón, se justifica la implementación del sistema de riego.

Tabla 8

Evapotranspiración del cultivo (ETc).

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm/día)	3,21	3,28	3,25	3,21	3,25	3,21	3,21	3,52	3,73	3,68	3,64	3,40
Kc	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,90	0,91	0,93	0,94
ETc (mm/día)	3,05	3,12	3,27	3,09	3,06	2,97	2,92	3,17	3,36	3,34	3,37	3,20

6.2.2.4. Precipitación efectiva. Según los datos de precipitación media mensual de la estación meteorológica “La Argelia”, se utilizó el software de la FAO “CROPWAT 8.0” para calcular la precipitación efectiva. Los resultados se presentan en la Tabla 8 y muestran que los meses de octubre a abril tienen la mayor precipitación efectiva, con valores entre 2,17 y 3,86 mm día⁻¹. Por el contrario, los meses de mayo a septiembre tienen la menor precipitación efectiva, con valores entre 1,23 y 2,02 mm día⁻¹.

Tabla 9

Precipitación efectiva de la Estación Meteorología “La Argelia”.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe (mm/mes)	119,8	104,2	114,8	80,8	61,3	60,7	47,8	39,6	36,8	71,0	65,0	97,9
Pe (mm/día)	3,86	3,72	3,70	2,69	1,98	2,02	1,54	1,28	1,23	2,29	2,17	3,16

6.2.2.5. Requerimientos de riego. En la Tabla 9 presenta los requerimientos de riego calculados a partir de la precipitación efectiva y la evapotranspiración del cultivo. Según los meses de enero, febrero y marzo no necesitan riego, ya que la precipitación efectiva supera a la evapotranspiración del cultivo. En cambio, el mes que requiere más riego es septiembre, con un valor de 2,13 mm día⁻¹.

Tabla 10

Valores de requerimientos de riego para el cultivo de café.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETc (mm/día)	3,05	3,12	3,09	3,05	3,06	2,97	2,92	3,17	3,36	3,34	3,37	3,20
Pe (mm/día)	3,86	3,72	3,70	2,69	1,98	2,02	1,54	1,28	1,23	2,29	2,17	3,16
Nr (mm/día)	0	0	0	0,36	1,08	0,95	1,38	1,89	2,13	1,05	1,20	0,04

6.2.2.6. Necesidades brutas Nbr y caudal continuo. El sistema de riego por goteo se considera que tiene una eficiencia de aplicación del 90%, lo que significa que el 90% del agua aplicada llega a las plantas. Para calcular las necesidades brutas de riego (Nbr), se divide el requerimiento de riego (Nr) entre esta eficiencia. La Tabla 10 muestra los valores de Nbr para cada mes del año. Se observa que los meses de agosto y septiembre tienen las mayores necesidades brutas de riego, con 2,10 mm día⁻¹ y 2,37 mm día⁻¹ respectivamente. Estos meses también tienen el mayor caudal ficticio continuo (Qfc), que es el caudal necesario para satisfacer la demanda de riego durante todo el año. Los valores de Qfc son 0,24 y 0,27 l/s/ha para agosto y septiembre respectivamente.

Tabla 11

Necesidades brutas y caudal continuo para el cultivo de café.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nr (mm/día)	-	-	-	0,36	1,08	0,95	1,38	1,89	2,13	1,05	1,20	0,04
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)	-	-	-	0,40	1,20	1,05	1,54	2,10	2,37	1,17	1,33	0,05
Caudal ficticio l/s/ha	-	-	-	0,05	0,14	0,12	0,18	0,24	0,27	0,14	0,15	0,01

6.2.2.7. Necesidades de agua del cultivo de café. En la Tabla 11, 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 2,58 mm/día, valor considerado en el diseño del sistema de riego.

Tabla 12*Necesidades de agua para el cultivo de café.*

Descripción	Símbolo	Unidades	Valores
Corrección por efecto de localización	Kl	s/u	0,78
Corrección por condiciones climáticas:			
a.- Coeficiente de variación	Kv	s/u	1,20
b.- Coeficiente de Advección	Ka	s/u	1,06
Evapotranspiración corregida	Etrl	mm/día	2,09
Necesidades netas de riego	Nn	mm/día	2,09
Necesidades totales de riego	Nt	mm/día	2,58
Necesidades diarias por árbol	N _{diarias}	l/árbol/día	6,45

6.2.2.8. Parámetros de riego. Para el dimensionamiento de los parámetros de riego se seleccionó un gotero no compensante de marca Naandanjain. J-Turbo Key Plus, el cual tiene la ventaja de que puede ser abierto con la finalidad de facilitar su limpieza. En Tabla 12, se muestra las características del emisor seleccionado.

Tabla 13*Características generales del gotero.*

parametro	Valor	unidad
marca	Naandanjain	
Ecuacion de descarga	$1.346x^{0.4756}$	
Caudal	4	l h ⁻¹
Presión	0,10	bar
cv	3	%



Como se observa en la Tabla 13 se obtuvieron los diferentes parámetros de riego como la frecuencia y tiempos de riego de acuerdo a las propiedades hidrofísicas del suelo existente en la zona de estudio, el clima y de los requerimientos de agua del cultivo de café, los valores de riego son similares en las 3 subunidades de riego debido a presentan las mismas características.

Tabla 14*Parámetros de riego para la zona de estudio.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Subunidad 1	Subunidad 2	Subunidad 3
Área mojada por emisor	A _e	m ²	1,02	1,02	1,02
Numero de emisores por planta	N _e	U	0,5	0,5	0,5
Separación entre emisores	S _e	m	1,05	1,05	1,05
Superficie mojada real	P	%	82	82	82
Lamina neta	Ln	mm	24,1	24	30,4
Frecuencia de riego	Fr	día	1	1	1
Tiempo de riego	t	min	137	132	132

6.3. Diseño Hidráulico

El sistema de riego por goteo consta de tres bloques de igual tamaño que operan en diferentes momentos. Cada bloque se divide en ocho laterales con 60 goteros cada uno, distribuidos en dos líneas paralelas de riego. La distancia entre los goteros es de 1,05 metros a lo largo de cada lateral. El caudal de diseño para la tubería principal es de 0,56 l.h⁻¹. Las Tablas 12, 13 y 14 muestran los resultados del diseño (Anexo 12).

6.3.1. Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego

Según la Tabla 14, las laterales de riego de la subunidad 1 tienen una longitud de 32 m, diámetro nominal de 16 mm, con una presión de trabajo de 40,7 mca, caudal de 0,017 l.s⁻¹, velocidad 0,50 m.s⁻¹, pérdida de carga por fricción de 0,028 mca y presión requerida de 10,03 mca, cada subunidad de riego consta de 8 laterales. En la subunidad 1 de riego, la tubería secundaria tiene una longitud de 12 m; su diámetro nominal de 32 mm, con un caudal de 0,28 l/s, la velocidad de agua es de 0,50 m/s, presión requerida 7,07 mca y la pérdida por fricción de 0,040 mca, el plano del diseño del sistema de riego se detalla en el Anexo 15.

Tabla 15*Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la unidad 1.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m ²	320
Presión del emisor	PN	mca	10
Caudal del emisor	Qe	l/h	4
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	2.10
Lateral de riego			
Longitud	Ll	m	32
Caudal	Ql	l/s	0,017
Perdida de carga	Hf	m	0,028
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	mca	10,03
Presión al final	Pu	mca	10,93
Tubería secundaria de Riego			
Longitud	Ll	m	12
Caudal	Ql	l/s	0,28
Perdida de carga	Hf	mca	0,040
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	mca	7,07

Según la Tabla 15 la longitud del lateral al igual que en la subunidad 1 es de 32 m, diámetro nominal de 16 mm, con una presión de trabajo de 40,7 mca, caudal de 0,017 l.s⁻¹, velocidad 0,50 m.s⁻¹, pérdida de carga por fricción de 0,028 mca y presión requerida de 10,03 mca, mientras que para la tubería secundaria se tiene una longitud de 12 m, con un caudal de 0,28 y el cual tiene una presión de trabajo de 127 mca, pérdida de carga por fricción de 0,040 mca, por donde fluirá el agua a una velocidad de 0,50 ms⁻¹ y el cual requiere una presión de 7,07 mca.

Tabla 16*Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la subunidad 2*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m ²	320
Presión del emisor	PN	mca	10
Caudal del emisor	Qe	l/h	4
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	2,10
Lateral de riego			
Longitud	Ll	m	32
Caudal	Ql	l/s	0,017
Perdida de carga	Hf	m	0,027
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	m	10,03
Presión al final	Pu	m	10,93
Tubería secundaria de Riego			
Longitud	Ll	m	12
Caudal	Ql	l/s	0,28
Perdida de carga	Hf	m	0,040
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	m	7,07

Los subunidad 3 presenta las mismas características en cuanto a la longitud de 32 m y 16 mm de diámetro nominal, que funcionan con una presión de 0,40 MPa y un caudal de 0,017 l s⁻¹. La velocidad del flujo en los laterales es de 0,50 m s⁻¹. La tubería secundaria tiene 12 m de longitud y 32 mm de diámetro nominal, con un caudal de 0,28 l s⁻¹ y una velocidad del flujo de 0,50 m/s. (Tabla 16)

Tabla 17*Resultados del diseño de la tubería lateral y secundaria. De la subunidad 3*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m ²	320
Presión del emisor	PN	mca	10
Caudal del emisor	Qe	l/h	4
Perdida de carga máxima admisible	h máx	m	2,10
Lateral de riego			
Longitud	Ll	m	32
Caudal	Ql	l/s	0,017
Perdida de carga	Hf	m	0,027
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	m	10,03
Presión al final	Pu	m	10,93

Tubería secundaria de Riego			
Longitud	Ll	m	12
Caudal	Ql	l/s	0,28
Perdida de carga	Hf	m	0,044
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Presión requerida en la entrada	Po	m	7,07

6.3.2. Diseño de la tubería principal

En la Tabla 17, se muestran los datos del diseño de la tubería principal de PVC. Tiene una longitud de 60 m y un diámetro nominal de 32 mm. Por ella, fluirá un caudal de 0,28 l/s a una velocidad de flujo de 0,5 m/s, que se encuentra dentro del rango adecuado para el funcionamiento correcto del sistema de riego.

Tabla 18

Resultados del diseño de la tubería principal.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud	Ll	m	60
Caudal	Ql	l/s	0,28
Perdida de carga	Hf	mca	1,02
Velocidad del agua	V	m/s	0,50
Carga dinámica Total	CDT	mca	17,22

6.3.3. Costos de instalación del sistema de riego.

El presupuesto de los materiales y accesorios empleados en la instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” se detalla en el Tabla 18. La inversión ascendió a \$ 1652.77 para cubrir una superficie de 2000 m².

Cabe recalcar que el costo de la implementación dependerá del tipo de material que se utilice de acuerdo a la topografía de la zona, y, de que tipo de goteros se adapten o sean convenientes para la zona destinada a implementación, así mismo depende del área neta destinada a riego.

Tabla 18*Presupuesto del diseño de riego por goteo para un predio de 2 000 m²*

Descripcion	Cantidad	Precio	Total
Reductor er 40 x 32 mm PN16 EC PVC	4	0,52	2,08
Universal ER 32 EC PVC	3	1,52	4,56
Codo ER 32 X 90° EC PVC	8	0,37	2,96
Adaptadpr ER 32 X I H EC PVC	4	0,31	1,24
Adaptador ER 32 X I M EC PVC EC	4	0,34	1,36
Adaptador ER 20 mm x 1 2 PN16 H EC - RR PVC	4	0,15	0,60
Tee ER 32 x 20 red EC PVC	3	0,43	1,29
Valvula DL L compuerta	1	9,88	9,88
Adaptador ER 32 x 1 M EC PVC EC	1	0,34	0,34
Filtro FF L x 120mesh tipo y disco F32YD 6M3H PN8	1	9,21	9,21
Manometro mh 0 100PSI d2 1 2 R1 4 glicerina	2	26,44	52,88
Valvula ER 20 compata bola, STD DIN EC	2	1,23	2,46
Codo ER 20 x 90° EC PVC	3	0,15	0,45
Adaptador dim 20 x 1 2 hembra ERA	3	0,16	0,48
Universal ER 32 EC PVC	1	1,52	1,52
Llave hp 1 2 bronce reforzada para manguera (grifo)	1	6,68	6,68
Montura ER 32 x 3 4 reforzada anillo PP	1	0,66	0,66
Tanque rp 600lts elevado con sistema tricapa full equipo	1	116,94	116,94
Tubo RV 32 mm x 1,25 MPa x 6mts e/c	20	4,42	88,4
Codo ER 32 x 90° pn26 PVC	4	0,52	2,08
Union ER 32 EC PVC	2	0,34	0,68
Tee ER 20 EC PVC	2	0,19	0,38
Tubo RV 20 mm x 2 MPa x 6 mts (290 lbs presion) EC	10	3,32	33,2
Tapa ER 20 h EC PVC	4	0,09	0,36
Adaptador ER 20mm x 1 2 pn16 m EC-RR PVC	3	0,15	0,45
Valvula ER 20 compacta bola, STD DIN EC	5	1,23	6,15

7. Discusión

7.1. Caracterizar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo y determinar los requerimientos hídricos del cultivo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.)

7.1.1. Descripción del perfil del suelo

La textura que predomina en los horizontes superficiales de los 2 primeros perfiles de la zona de estudio corresponde a una textura franco, mientras que en el tercer perfil se determinó una textura franco limosa. Estos horizontes se originaron principalmente por la deposición de materiales aluviales, considerando el tipo de relieve que existe y también la escasa pendiente del terreno (3%), lo cual concuerda con lo reportado por Valarezo et al. (2007), quienes exponen que la formación del suelo se debe principalmente a la acumulación de aluviones y coluviones en la mayor parte del relieve. Las pendientes oscilaron entre suaves (2 – 6 %) y moderadas (6 – 13 %). En base a esto, se argumenta que la inclinación del terreno ha sido relativamente estable, con un promedio de 3 %. Actualmente, se ha evidenciado la presencia de nuevos horizontes como el Ap y A1, esto debido a los procesos de erosión y sedimentación que se han presentado en la zona.

7.1.2. Constantes hidrofísicas

El suelo de la zona de estudio tiene una saturación promedio de 44,96 % a $pF = 0$ en los tres perfiles analizados. Este valor es alto y se corresponde con lo reportado por Valarezo et al. (1998), citados por Maza (2020), para suelos de textura fina con una humedad volumétrica (θ_v) entre 40 y 50 %. Además, la densidad aparente de cada perfil está dentro de los límites adecuados para la agricultura, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que considera que las densidades menores a $1,44 \text{ g.cm}^{-3}$ favorecen el desarrollo radicular del cultivo. Por lo tanto, el suelo tiene condiciones óptimas para el cultivo.

7.1.3. Curva de retención de humedad del suelo

En promedio, los tres horizontes analizados presentan una CC de 25,21 %, lo que significa que por cada 100 gramos de suelo se retienen 25,21 g de agua. Este valor es óptimo para el cultivo, ya que estas capas tienen una elevada capacidad de retención de humedad. Según Fernández (2010), la capacidad de campo (CC) a $pF = 2,52$ indica el porcentaje de agua que se retiene en el

suelo después de haberse drenado el agua de los macro-poros. Por otro lado, el punto de marchitez permanente (PMP) a $pF= 4,2$ se obtuvo en promedio de los 3 horizontes un valor de 13,70, lo cual representa el porcentaje mínimo de agua que necesita el suelo para que las plantas no se marchiten. Lall y Shulka (2004), citados por Valarezo et al. (2020), afirman que el PMP depende principalmente de la cantidad y naturaleza de la arcilla. Estos valores se asemejan a los obtenidos por Erreyes (2021), quien realizó su investigación en Saraguro – Loja, quien obtuvo valores de $PMP = 17,35$, y $CC = 31,39$; esto considerando que las texturas de ambos suelos son semejantes ya que van entre franco a franco arenoso, y de la misma manera tomando en cuenta las condiciones climáticas semejantes.

7.1.4. Evaluación de las constantes hidrofísicas

La capacidad de aireación del suelo de la Quinta Experimental “La Argelia” se obtuvo, ($CA = 19,75$), lo cual se interpreta como una clasificación alta o que presenta una buena aireación, así mismo los valores del agua aprovechable se determinó, ($AA = 11,51$); este valor entra en el rango propuesto por Valarezo et al. (1998) quien señalan que una AA entre 10 y 15 % es apropiada para el buen desarrollo de las plantas, en este sentido se puede deducir que el suelo existente presenta una buena aireación, y lo que indica que el suelo tiene un nivel de humedad beneficioso para el cultivo. Kirkham (2014) respalda esta idea al afirmar que los suelos con un alto contenido de agua aprovechable producen más biomasa vegetal que los suelos con un bajo contenido. Por otro lado, el volumen de poros físicamente inerte se estimó en el 68,74 %, un valor medio que sugiere una predominancia de partículas de arena. Con el diagrama triangular se evaluaron las condiciones físicas del suelo y se clasificaron como muy pobres (Anexo 2).

7.1.5. Velocidad de infiltración

En los suelos de la zona de estudio se presentó una infiltración básica promedio de 80,7 mm/h. Según Cisneros (2003), esta cifra corresponde a una velocidad de infiltración moderadamente rápida, debido a que los suelos tienen un gran porcentaje de arenas y moderados contenidos de materia orgánica, propio de suelos de textura franco. Esta información es corroborada por la USDA (2006), citado en Zambrano Jiménez (2016), que menciona que la clasificación de moderadamente rápida se encuentra entre los rangos de 65 – 150 mm/h. Por el

contrario, los suelos con baja infiltración pueden ocasionar escorrentía y encharcamiento, y saturarse durante las lluvias o riego, provocando erosión del suelo.

7.2. Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental “La Argelia”.

7.2.1. Diseño agronómico

a. Necesidades hídricas del cultivo.

La evapotranspiración de referencia (E_{To}) es un indicador de la demanda hídrica de los cultivos. En este estudio, se estimó la E_{To} usando el método de Penman-Monteith. Los resultados mostraron que la E_{To} varió entre 3,21 y 3,73 mm día⁻¹, siendo los meses de septiembre, octubre y noviembre los de mayor demanda y los meses de enero, abril, junio y julio los de menor demanda. El valor promedio fue de 3,38 mm día⁻¹, valor aproximado al obtenido por Armijos & Ordoñez (2011) en un estudio sobre el riego por pulsos en el cultivo de fréjol en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, donde calcularon una E_{To} de 2.32 mm.día⁻¹. En cambio, Torres (2016) reportó valores más altos, con un promedio de 4,30 mm día⁻¹, en un estudio sobre la provincia de Loja. Por su parte, Monge (2018) sugiere que se debe considerar el mes de mayor demanda hídrica del cultivo para realizar los cálculos, ya que las plantas requieren más agua en ese período.

Para calcular la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), se utilizaron los valores de K_c y E_{To} . De acuerdo con los análisis, se obtuvo que el mes con menor E_{Tc} fue julio (2,92 mm día⁻¹), mientras que el mes con mayor E_{Tc} fue noviembre (3,37 mm día⁻¹). Esto se explica debido a las variaciones existentes en la cobertura del suelo y las propiedades de la vegetación de la zona de estudio, ya que afectan la relación entre la E_{Tc} y la E_{To} (FAO, 2006). Según los resultados obtenidos los meses que no requieren riego son enero, febrero y marzo debido a que la precipitación efectiva supera la E_{Tc} , mientras que para el mes de septiembre se requiere mayor reposición de agua ya que la E_{Tc} es de 2,37 mm día⁻¹. Estos resultados difieren notablemente de los obtenidos por Valverde (2014), quien estimó una necesidad bruta de 3,1 mm día⁻¹ en los meses de septiembre mediante el método del tanque evaporímetro en condiciones climáticas similares. La FAO (1998) define la evapotranspiración de referencia como la pérdida de agua en una superficie cultivada. En este

sentido se puede deducir que la diferencia de valores se debe a las condiciones topográficas del terreno.

b. Necesidades de agua del cultivo.

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 $A = 0,71$. Martínez, (2014) menciona que para cultivos arbóreos se representa la superficie sombreada por el cultivo, como el cociente entre el área de sombra de la copa y el área del marco de plantación, mientras que para los cultivos herbáceos se pueden tomar valores entre $A = 0,75$ y $0,80$.

Las necesidades diarias por árbol, obtenidos son de 6,45 l/árbol/día, estos valores son menores a los obtenidos por Picoita-Guerrero (2021), quien obtuvo valores de 13,25 l/árbol/día, considerando que se tuvo la misma disposición entre plantas e hileras. Así mismo, Sánchez (2020) obtuvo valores distintos en su investigación en Colombia, ya que obtuvo valores de 10,27 l/árbol/día, similares a los obtenidos por Picoita (2021); esto se justifica debido a las condiciones climáticas en las que se encuentra cada zona de estudio (clima seco) son diferentes a la de la zona de estudio

c. Parámetros de riego.

La separación entre goteros fue de 1,05 m, lo que permite humedecer un 82 % de la superficie sombreada por cada gotero. Según Fernández (2011), esta proporción es similar a la que se obtiene con una separación de entre 0,6 y 0,8 m. Además, el número de emisores (2 u) y el área mojada ($1,02 \text{ m}^2$) por cada gotero garantizan un adecuado desarrollo radicular, ya que el porcentaje de suelo mojado es mayor al 35 % recomendado por Ulloa (2012).

d. Diseño hidráulico.

Debido a las características topográficas del terreno, se determinó que se utilizaran emisores no auto compensados puesto que se tiene un terreno llano, con un rango de regulación de presión de 5 – 25 mca y una descarga nominal de 0,7; 1,1 ; 1,5; 2,0; y 4,0 l/h que garantiza el fabricante. Estos emisores tienen la ventaja de ser más económicos debido a que no disponen de un sistema tan sofisticado para manejar la presión del agua lo que permite que puedan funcionar con una menor

presión diferencia de los auto compensados (Medina, 2019). Se seleccionó para el diseño 10 mca de variación de presión para un caudal de 4 l/h, considerando que Monge (2018) menciona que es muy común utilizar goteros de entre 3 a 8 l/h en cultivos arbóreos, ya que estos necesitan una mayor extensión de suelo humedecido.

Con respecto a la pérdida de presión admisible, se obtuvo un valor de 2,10 mca correspondiente a todo el sistema de riego, el cual es mayor que las pérdidas de presión de los laterales y la tubería secundaria, que son de 0,027 y 0,040 m respectivamente, y que se aplica para cada bloque ya que presentan el mismo dimensionamiento, y, por lo tanto, se cumple con los límites permisibles, en este sentido, esto coincide con lo expuesto por Monge (2018), quien manifiesta que las pérdidas de carga admisibles deben ser mayores a las pérdidas de carga que se producen por la fricción del agua. De esta manera, se evidencia que se cumple con las condiciones para el diseño.

En cuanto a las velocidades de flujo, se obtuvo para todas las tuberías un valor de 0,5 m/s, el cual es aceptable, ya que INEH (2013) expresa que con una velocidad mayor a 2,5 m/s se pueden ocasionar problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes inferiores de la tubería, lo cual afecta la vida útil de las mismas y velocidades menores a 0,5 m/s tienen como consecuencia problemas de sedimentación.

8. Conclusiones

- Según la condición de las propiedades físicas del suelo, se observa que el suelo no ha cambiado significativamente con el uso anterior. Es decir, se ha conservado significativamente a lo largo del tiempo y el estado físico de la tierra no se encuentra en una zona crítica. Esto facilita la práctica del cultivo del café, ya que puede adaptarse a las condiciones requeridas para el crecimiento de este cultivo.
- Considerando que la textura que presenta el suelo de la zona de estudio se encuentra entre Franco y Franco Limosa, y la evaluación de las condiciones físicas del suelo se ubica en la Zona III y se clasifica como medio, con valores de (AA = 11,51), (CA = 19,75) (VPFI = 68,73), se puede concluir que presenta condiciones adecuadas para el desarrollo de café.
- Tanto el diseño agronómico como hidráulico cumplen con las necesidades del cultivo de café, tomando en cuenta las variables climáticas y los requerimientos de agua. El diseño se ha adaptado con el propósito de que funcione de manera adecuada, suministrando las láminas de agua óptimas para el correcto desarrollo del cultivo.
- En cuanto a la ejecución del diseño del sistema de riego, se ha determinado que su implementación favorecerá a la disminución de las pérdidas de agua por escurrimiento, dado que se trata de un riego localizado. Además, abastecerá de manera óptima la demanda de agua en los meses de mayor evapotranspiración que son noviembre y septiembre, durante los cuales se suministrará una lamina de riego de 24 mm día^{-1} .

9. Recomendaciones

- Una vez que se haya implementado el sistema de riego por goteo realizar evaluaciones constantes, con la finalidad de comprobar si la distribución de agua es adecuada y el correcto funcionamiento del sistema de riego perdura con el tiempo y no varía a las condiciones de diseño.
- Se debe considerar una profundidad de 0,40 m mínimo para enterrar las tuberías con la finalidad de evitar daños causados por agentes atmosféricos.
- Se recomienda que realicen estudios orientados al modernismo y automatización de sistemas de riego, encaminados al aprovechamiento de energías renovables para el riego.
- Es importante llevar a cabo una capacitación para las personas encargada de los riegos, para el correcto uso de los componentes del sistema de riego, lo cual permitirá un correcto funcionamiento del mismo.

10. Bibliografía

- Álvarez, C., & Velozo, C. (1974). Contribución a la caracterización de suelos del área basáltica alrededores de Laureles. Montevideo: Facultad de Agronomía.
- Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFÉ). (2012). Plan integral de promoción del café de México. México.
- Aguinsaca, D. (2020). Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “La Dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Angella, G., Frias, C., & Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Armijos, D. y Ordóñez, E. (2011). Determinación de parámetros hidráulicos del sistema de riego por pulsos en surcos y su incidencia en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio digital de la Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4949>
- Assan, M., y Gorosito, S. (2018). Relación agua suelo planta. Serie Didáctica N° 1 Catedra de Riego y Drenaje FCA UNCA. Recuperado de:
<http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>
- Cadena, V. (2017). Hablemos de Riego (Segunda). CONGOPE. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/hablemos-de-riego-low.pdf>
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157.
<https://doi.org/10.22579/20112629.524>

- Calvache Ulloa, A. (2012). Riego Andino Tecnificado Para Fertirriego.
- 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
- Castro, E. (2016). Sistema de control electrónico de plagas, calefacción y regadío en las plantaciones de mora ubicadas en la provincia de Tungurahua, parroquia Huachi Grande, sector “El Arbolito”. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Cisneros, R. (2003a). Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje. <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- Cisneros, R. (2003b). Apuntes de Riego y Drenaje. <http://www.ingenieria.uaslp.mx>
- Chamba, E. (2018). Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del café (Coffea arabica L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja.
- Chow, J. (2006). Método Fácil de Diseño de Riego por Goteo MEFADERG Índice Contenido. https://www.academia.edu/35689307/M%C3%A9todo_F%C3%A1cil_de_Dise%C3%B1o_de_Riego_por_Goteo_MEFADERG_%C3%8Dndice_Contentido
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2014) Estudios e investigaciones: nueva ruralidad; enfoques y propuestas para América Latina.
- Corporación de Desarrollo Indígena (CONADI). (2017). Programación y elaboración de proyectos de riego para organizaciones y personas indígenas de la región de Atacama. Chile.
- Duicela, L., Del Rocio, S., & Farfan, D. (2017). Calidad Organoléptica de Cafés Arábigos en Relación a las Variedades y Altitudes de las Zonas de Cultivo, Ecuador.

Duran, M. (2008). Filtración y uniformidad de riego en los sistemas de microirrigación con efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales. Recuperado de: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8157/Tmdr1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Erreyes, E. (2021). Diseño de un sistema de riego por aspersión para la producción de forraje y cultivos locales en un predio ubicado en la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, Loja. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Loja.

Escobar-Perea, Y., Vargas-Batis, B., Ramos García, Y. M., Rodríguez Suárez, E. J., Osoria, O. R., Fonseca, R. R., Escobar Perea, Y., Vargas-Batis, B., Ramos García, Y. M., Rodríguez Suárez, E. J., Osoria, O. R., & Fonseca, R. R. (2021). Propiedades físicas del suelo en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(2), 74-78.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2012). Agua: clave de la seguridad alimentaria. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/87009/icode/?fbclid=IwAR1r0CRHeOlvyqRVGi9rn6Mf1r8HdVkf4iX5YqbEQAzlvreK5VB9JNAtrJY>

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

FAO. (2006). Portal de suelos de la FAO; Guía para la descripción de suelos. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>

FAO 47. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. <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. (2022). Gestión integrada de los recursos hídricos en favor de la seguridad alimentaria y la resiliencia al cambio climático. <https://www.fao.org/3/nk446es/nk446es.pdf>

Fernández, J. (2011). Diseño de un parque periurbano en el paraje de "Las Salinas" perteneciente al T.M. de Roquetas de Mar (Almería). (Tesis de grado). Universidad de Almería. Andalucía, España. Recuperado de: <http://repositorio.ual.es/handle/10835/567>

Fernández-Gómez, R., Oyonart-Gutiérrez, N., García-Bernal, J. P., Yruela-Morillo, M. del C., Milla-Milla, M., Ávila-Alabarces, R., & Gavilán-Zafra, P. (2010). Manual de riego para agricultores: Módulo 3. Riego por aspersión. En Riego por aspersión. Signatura Ediciones de Andalucía, S.L.

Fuentes Yagüe, J. L. (2002). Curso de riego para regantes. Mundi-Prensa.

García Petillo, M., & Puppo, L. (2015). Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) para el diseño de equipos de riego en el Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1), 122-130.

Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (2011). Guía técnica para el cultivo del café. Centro de Investigaciones en Café. Costa Rica.

INTAGRI. (2019). Diseño Agronómico del Sistema de Riego por Goteo | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/disenio-agronomico-del-sistema-de-riego-por-goteo>

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (1993). Manual del cultivo de café. Quevedo, Ecuador.

INEH. (2013). Chapter 7 Microirrigation. <https://directives.sc.gov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=34517.wba>

Juan, J. A. M. S. (1985). *Riego por goteo: Teoría y práctica*. IICA Biblioteca Venezuela.

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

- Krüger, H., Frolla, F., & Zilio, J. (2018). Profundidad Efectiva del Suelo y Rendimientos de Trigo en el Sudoeste Bonaerense. 6.
- Lecaros, B. J.M. 2011. El Riego por Goteo. Seminario Internacional de Riego y Fertirrigación. 23 y 24 de junio, Chiclayo, Perú.
- Linares, R. (2011). Proyecto de una explotación agrícola en el T.M. de Berja (Almería). <https://1library.co/document/zk3x26py-proyecto-explotacion-agricola-t-m-berja-almeria.html>
- Liotta, M. (2015). Manual de capacitación: Riego por Goteo (UCAR. Unidad para el cambio Rural).
- Lopez, R., Abreu, H., Regalado, P., & Hernandez, G. (1997). Riego Localizado (Segunda). Ediciones Mundi-Prensa.
- Martinez, J. (2014). Introducción al Riego. Universidad Politécnica de Valencia.
- Maza, H. (2020). Evaluacion y mejoramiento técnico de la eficiencia de riego presurizado en el cultivo de café en el sector potrerillos, cantón Gonzanamá. Tesis de grado. Loja, Ecuador
- Medina, L. (2019). Características de goteros: Criterios para una elección y uniformidad de riego. Universidad Católica de Temuco.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú.
- Monge-Redondo, M. Á. (2018). Diseño Agronómico e hidráulico de riego agrícolas a presión (Primera). Agrícola Española, S. A.
- McCarty, L. B., Hubbard, L. R., & Quisenberry, V. (2016). Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24226-2>

- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Albán, K., & Morales, F. L. M. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), Art. 2. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Ojeda, A., McLeod, K., & Pino, M. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/4880/Informativo%20INIA%20N%c2%b0%2079?sequence=1&isAllowed=y>
- 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 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/24377>
- Quiroga, A., Fernández, R., & Álvarez, C. (2018). Análisis y evaluación de propiedades físico hídricas de los suelos. INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/analisis_y_evaluacion_de_propiedades_fisico_hidrica_de_los_suelos.pdf
- Ramos-Cirilo, L. A., Quej-Chi, V. H., Carrillo-Ávila, E., Aceves-Navarro, E., & Rivera-Hernández, B. (2021). Estimación de la evapotranspiración de referencia con datos de temperatura: Una comparación entre técnicas de cálculo convencionales y de inteligencia artificial en una región cálida-subhúmeda. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(3), Art. 3. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-03-02>
- Rodrigo L., Hernández, J., Pérez, A., & Gonzales, J. (1997). Riego localizado. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo.
- Sanchez-Bayo, M. (2020). Diseño de un sistema de fertirrigación para 1ha de *Coffea arabica* variedad Caturro en La Venta de Cajibío, Cauca, Colombia) [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/66154/>

Solórzano, E., Vega, M., Defaz, G., & Solórzano, M. (2015). Implementación de un sistema de riego por aspersión para uso agrícola, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana.

Shock, C., & Teresa, W. (2013). El riego por goteo: Una introducción. *Oregon State University*.

a.

Toledano, J., Tormo, M., Blanca, V., & Langa, J. (2014). Mantenimiento de redes de distribución de agua y saneamiento. Paraninfo.

Tomalá, J. (2021). Comportamiento productivo del pasto zuri (*Panicum maximum cv BRS ZURI*) a diferentes láminas de riego, en el río verde, Santa Elena. Trabajo de Integración Curricular, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Torres, I. (2016). “Respuesta del cultivo de maní (*Arachis Hipogea L.*) a dos métodos de riego a presión en el valle de Casanga, provincia de Loja”. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja UNL. Loja, Ecuador.

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

Valarezo, C., Guaya, P., Valarezo, L. (2007). Estudio de Edafología del Centro Binacional de Técnico Zapotepamba.

Valverde, L., Morocho, J. (2014). Determinación del rango óptimo del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) bajo riego por goteo en la estación experimental La Argelia. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja].

Villacís, P., y Aguilar, T. (2016). Comportamiento agronómico de cinco variedades de café (*coffea arábica L.*), sometido a diferentes aplicaciones foliares. Tesis de grado. Universidad de las Fuerzas Armadas, Santo Domingo de Tsáchilas, Ecuador.

Zambrano-Jimenez, W. A. (2016). “EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES

FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (*Gmelina arborea roxb*), EN EL BARRIO LA VICTORIA, PARROQUIA DE ZAMORA, CANTÓN ZAMORA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja].

Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en el Ecuador: Problemática, debate y política. <https://hal.inrae.fr/hal-02833506>

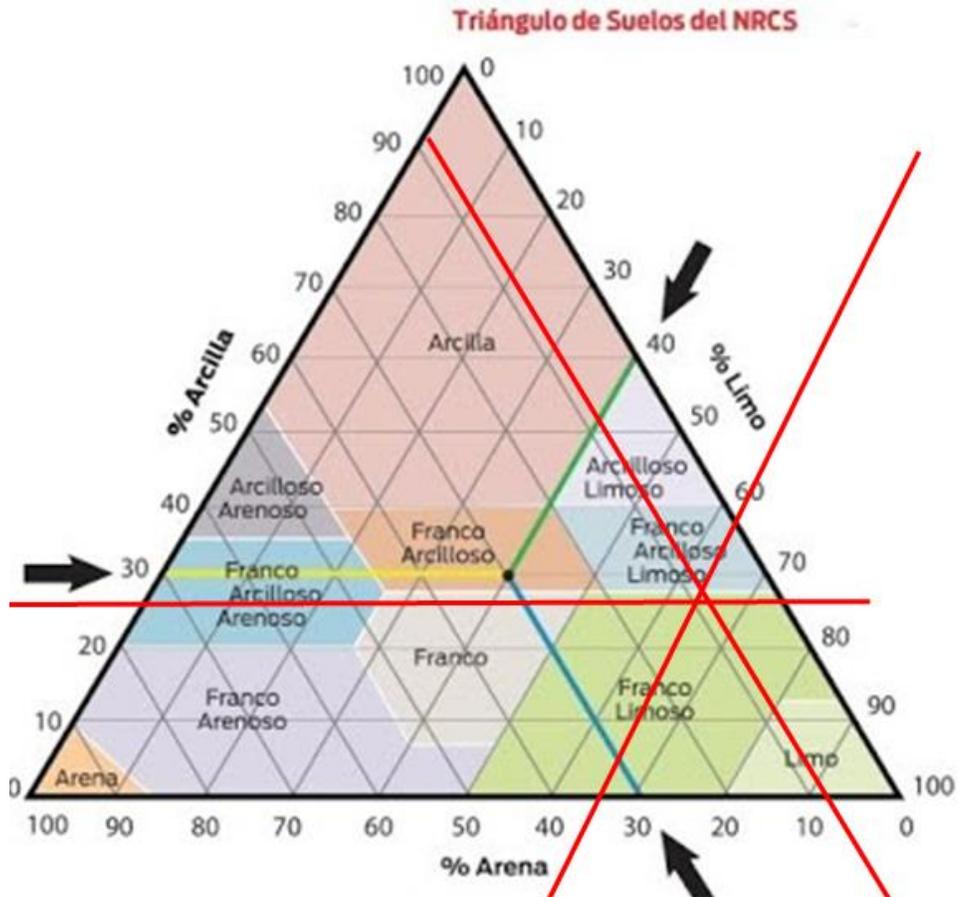
Zúñiga, É. (2004). Diseño Y Evaluación Del Riego a Presión. Editorial Universidad de Costa Rica.

11. Anexos

Anexo 1. Triángulo textual.

Figura 11

Determinación de la textura mediante el Triángulo textual.



. Anexo 3. Datos de campo de infiltración.

Tabla 19

Datos de campo de infiltración.

Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr) (cm	Diferencia	lami. Inf.	
					Acum (cm)	V. Inf. Insta (cm/min)
1	5	5	1,3	1,3	1,3	0,22
2	5	10	2,5	1,2	2,5	0,20
3	5	15	3,4	0,9	3,4	0,19
4	5	20	4,1	0,7	4,1	0,18
5	5	25	5	0,9	5,0	0,17
6	5	30	5,8	0,8	5,8	0,17
7	5	35	6,5	0,7	6,5	0,17
8	5	40	7,4	0,9	7,4	0,16
9	5	45	0,4	0,4	7,8	0,16
10	5	50	1,7	1,3	9,1	0,16
11	5	55	2,4	0,7	9,8	0,16
12	5	60	3,4	1	10,8	0,15
13	10	70	5	1,6	12,4	0,15
14	10	80	6,4	1,4	13,8	0,15
15	10	90	7,7	1,3	15,1	0,15
16	10	100	1,3	1,3	16,4	0,14
17	10	110	2,9	1,6	18,0	0,14
18	10	120	4,4	1,5	19,5	0,14
19	15	135	6,4	2	21,5	0,14
20	15	150	8,4	2	23,5	0,13
21	15	165	2,2	2,2	25,7	0,13
22	15	180	4,5	2,3	28,0	0,13
23	20	200	7,3	2,8	30,8	0,13
24	20	220	4,5	4,5	35,3	0,13

11.4. Anexo 4. Descripción del perfil del suelo.

Tabla 20
Descripción del perfil del suelo

PROFUNDIDAD	SIMBOLO	COLOR HÚMEDO	MANCHAS DE COLOR			TEXTURA	ESTRUCTURA			
			ABUNDANCIA	TAMAÑO	CONTRASTE		NITIDEZ	GRADO	TIPO	TAMAÑO
(0 cm – 10 cm)	Ap	2,5 Y 3/1		Sin presencia de manchas			Franco-arenoso (FoAo)	Moderadamente desarrollado	Bloques subangulares	Finos a gruesos
(10 cm – 25 cm)	A1	5 Y 3/1		Sin presencia de manchas			Franco-arcillo-limoso (FoAcLo)	Débil	Bloques subangulares	Finos
(25 cm – 40 cm)	AC	5 Y 3/2		Sin presencia de manchas			Franco-arenoso (FoAo)	Débil	Bloques subangulares	Finos
(40 cm – 70 cm)	2C	5 Y 4/2		Sin presencia de manchas			Franco-arenoso (FoAo)		Masivo (Sin estructura)	
(70 cm – 90 cm)	3C	2,5 Y 4/2	Muchos	Medianas	Definidos	Neto	Arenoso-franco (AoFo)		Masivo (Sin estructura)	
(90 cm – 110 cm)	4C	2,5 YR 4/1	Muchos	Grandes	Definidos	Brusco	Arenoso-franco (AoFo)		Masivo (Sin estructura)	

PROFUNDIDAD	CONSISTENCIA			CUTANES		POROS		FRAGMENTOS ROCOSOS			
	ADHESIVIDAD	PLASTICIDAD	COHESIÓN (h)	COHESIÓN (S)	CANTIDAD	ESPESOR	CANTIDAD	DIAMETRO	ABUNDANCIA	TAMAÑO	FORMA
(0 cm – 10 cm)	Ligeramente adherente	Ligeramente plástica	Friable		No	No	Pocos	Medianos	Pocos (7%)	Grava	Angular-plano
(10 cm – 25 cm)	Adherente	Plástica	Friable		No	No	Frecuentes	Finos	Frecuentes (15 – 40%)	Grava	Angular-subangulares
(25 cm – 40 cm)	Ligeramente adherente	Ligeramente plástica	Friable		No	No	Frecuentes	Finos	Frecuentes (15 – 40%)	Grava	Angular-subangulares
(40 cm – 70 cm)	Ligeramente adherente	Ligeramente plástica	Friable		No	No	Muchos	Finos a medianos		Sin presencia	
(70 cm – 90 cm)	No adherente	No plástica	Muy friable		No	No	Muchos	Medianos		Sin presencia	
(90 cm – 110 cm)	No adherente	No plástica	Muy friable		No	No	Muchos	Medianos		Sin presencia	

11.5. Anexo 5. Determinación de textura.

Tabla 19

Determinación de textura.

DETERMINACIÓN DE TEXTURA													
FECHA	COD. LAB.	COD. CAMPO	1ª LECT	T °C	2ª LECT	T °C	LECTURAS CORREGIDAS		Arena Ao	Limo Lo	Arcilla Ac	TEXTURA	INTERPRETACIÓN
							1ª LECT	2ª LECT					
MO1													
1/7/2022	3214	Ap	27	18	8	18	26	7	47,4	38,0	14,56	Fo	Franco
	3215	A1	30	18	11	18	29	10	41,4	38,0	20,56	Fo	Franco
	3216	AC	35	18	16	18	34	15	31,4	38,0	30,56	FoAc	Franco Arcilloso
	3217	2C	26	18	9	18	25	8	49,4	34,0	16,56	Fo	Franco
	3218	3C	12	18	6	18	11	5	77,4	12,0	10,56	FoAo	Franco Arenoso
	3219	4C	22	18	6	18	21	5	57,4	32,0	10,56	FoAo	Franco Arenoso
MO2													
1/7/2022	3220	Ap	31	19	9	18	31	8	38,7	44,7	16,56	Fo	Franco
	3221	AC	30	20	10	18	30	9	40,0	41,4	18,56	Fo	Franco
	3222	2C	31	19	11	18,5	31	10	38,7	40,4	20,92	Fo	Franco
	3223	3C	19	19	8	18	19	7	62,7	22,7	14,56	FoAo	Franco Arenoso
MO3													
1/7/2022	3224	Ap	35	19	10	18	35	9	30,7	50,7	18,56	FoLo	Franco Limoso
	3225	2C	37	19	15	18	37	14	26,7	44,7	28,56	FoAc	Franco Arcilloso
	3226	3C	46	19	17	18	46	16	8,7	58,7	32,56	FoAcLo	Franco Arcilloso Limoso

11.6. Anexo 6. Determinación de textura.

Tabla 20

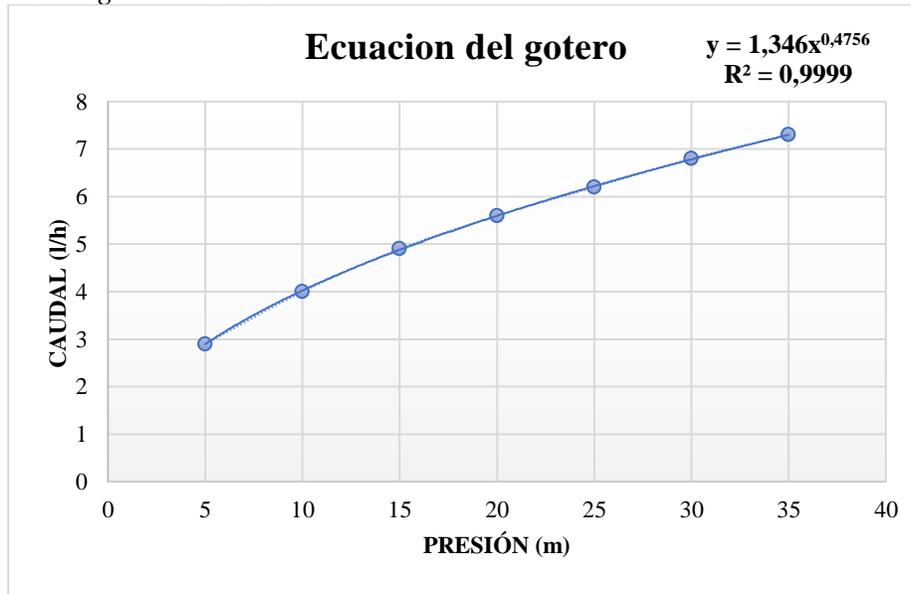
Determinación de constantes hidrofísicas.

HORIZONTE	SATURACIÓN %	CC	PMP	Da g/cm3	AA %	CA %	Vpfi %	CONDICIONES FISICAS DEL SUELO
		(1/3 atm) %	(15 atm) %					
Ap	44,82	27,31	14,84	1,23	12,47	17,51	70,02	II
Ap	44,10	21,16	11,50	1,20	9,66	22,94	67,40	II
Ap	45,98	27,18	14,77	1,17	12,41	18,80	68,79	III

11.7. Anexo 7. Ecuación de descarga del emisor.

Figura 13

Ecuación de descarga del emisor.



11.8. Anexo 8. Ficha técnica del gotero.

Figura 14

Ficha técnica del gotero Naandanjain. J-Turbo Key Plus no compensante 4 (l h -1).



APLICACIONES

- Recomendado para huertos, cultivos frutales, plantaciones, viveros y áreas verdes

ESTRUCTURA Y CARACTERISTICAS

- El gotero puede ser abierto para facilitar su limpieza
- Fabricado con plástico virgen para lograr un rendimiento estable
- El recorrido del flujo turbulento con una amplia sección transversal que asegura la resistencia al taponamiento
- Salidas extendidas que facilitan el uso de un tubo de extensión de PE o de vinilo
- Entrada estrecha en forma de cruz que actúa como filtro
- Coeficiente de variación de fábrica CV \leq 3% asegura una alta uniformidad de emisión en campo (EU)
- Tapas de colores que facilitan la identificación del caudal

DATOS TECNICOS

- CV \leq 3%
- Rango de regulación de presión: 0.5 – 2.5 bar
- Grado de filtración requerido: 100 micras (150 mesh)
- Diámetro de perforación requerido: 2.9 mm

DATOS TECNICOS Y CODIGO DE COLOR

Color de tapa e inserción	Descarga* (l/h)	Exponente del emisor (x)	Coefficiente de flujo (k)
Amarillo	2	0.48	2.0
Negro	4	0.48	4.0
Azul	8	0.48	8.0
Verde	14	0.48	14.0

* A una presión operativa de 1 bar

CAUDAL VS. PRESION

Presión (bar)	Caudal (l/h)			
	2 (l/h)	4 (l/h)	8 (l/h)	14 (l/h)
0.5	1.4	2.9	5.7	10.0
1.0	2.0	4.0	8.0	14.0
1.5	2.4	4.9	9.7	17.0
2.0	2.8	5.6	11.2	19.5
2.5	3.1	6.2	12.4	21.7
3.0	3.4	6.8	13.6	23.7
3.5	3.6	7.3	14.6	25.5



© Naandanjain Ltd

11.9. Anexo 9. Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman Monteith..

Tabla 21

Evapotranspiración de referencia, según el método de Penman Monteith.

Mes	Prom Temp °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	15.9	77	7.4	3.8	15.3	3.21
Febrero	16.2	77	8.7	3.5	15.1	3.28
Marzo	16.1	77	8.1	3.6	15.1	3.25
Abril	16.3	77	7.4	4.0	15.0	3.21
Mayo	16.0	76	9.6	4.3	14.4	3.25
Junio	15.4	75	9.9	4.4	13.9	3.21
Julio	14.7	74	9.9	4.5	14.3	3.21
Agosto	15.3	73	9.9	5.1	16.1	3.52
Septiembre	16.0	72	8.5	4.9	16.8	3.73
Octubre	16.3	73	7.4	4.8	17.0	3.68
Noviembre	16.4	74	6.9	5.3	17.6	3.64
Diciembre	16.5	76	6.4	4.7	16.5	3.40
Promedio	15.9	75	8.3	4.4	15.6	3.38

11.10. Anexo 10. Presupuesto para la instalación del sistema de riego.

Tabla 22

Presupuesto para la instalación del sistema de riego.

Descripcion	Cantidad	Precio	Total
Reductor er 40 x 32 mm PN16 EC PVC	4	0,52	2,08
Universal ER 32 EC PVC	3	1,52	4,56
Codo ER 32 X 90° EC PVC	8	0,37	2,96
Adaptadpr ER 32 X I H EC PVC	4	0,31	1,24
Adaptador ER 32 X I M EC PVC EC	4	0,34	1,36
Adaptador ER 20 mm x 1 2 PN16 H EC - RR PVC	4	0,15	0,60
Tee ER 32 x 20 red EC PVC	3	0,43	1,29
Valvula DL L compuerta	1	9,88	9,88
Adaptador ER 32 x 1 M EC PVC EC	1	0,34	0,34
Filtro FF L x 120mesh tipo y disco F32YD 6M3H PN8	1	9,21	9,21
Manometro mh 0 100PSI d2 1 2 R1 4 glicerina	2	26,44	52,88
Valvula ER 20 compata bola, STD DIN EC	2	1,23	2,46
Codo ER 20 x 90° EC PVC	3	0,15	0,45
Adaptador dim 20 x 1 2 hembra ERA	3	0,16	0,48
Universal ER 32 EC PVC	1	1,52	1,52
Llave hp 1 2 bronce reforzada para manguera (grifo)	1	6,68	6,68
Montura ER 32 x 3 4 reforzada anillo PP	1	0,66	0,66
Tanque rp 600lts elevado con sistema tricapa full equipo	1	116,94	116,94
Tubo RV 32 mm x 1,25 MPa x 6mts e/c	20	4,42	88,4
Codo ER 32 x 90° pn26 PVC	4	0,52	2,08
Union ER 32 EC PVC	2	0,34	0,68
Tee ER 20 EC PVC	2	0,19	0,38
Tubo RV 20 mm x 2 MPa x 6 mts (290 lbs presion) EC	10	3,32	33,2
Tapa ER 20 h EC PVC	4	0,09	0,36
Adaptador ER 20mm x 1 2 pn16 m EC-RR PVC	3	0,15	0,45
Valvula ER 20 compacta bola, STD DIN EC	5	1,23	6,15

Codo ER 20 x 90° EC PVC	7	0,15	1,05
Tapa ER 20 h EC PVC	7	0,09	0,63
Adaptador ER 20 mm x 1 2 pn16 H EC - RR PVC	7	0,15	1,05
Conector GM 12 mm inicial flex	30	0,12	3,6
Hidroplas PP 16 mm x0,4 MPa x metro (manguera 400 mts)	1000	0,17	170
Final GM 16 mm de linea tipo 8	30	0,11	3,3
Gotero IS 3,75l h katif salida lateral rojo	800	0,12	96
Pega TG 705 1 4 galon weld-on ips	1	12,09	12,09
Cinta HP teflon amarilla industrial reforzada 15 mt x	3	0,71	2,13
Limpia TG c-65 1-galon weld-on IPS	1	32,22	32,22
Tubo flex PP 2 x 1 mts x 90 PSI	342	1,96	670,32
Tubo PL 40 mm x 1,00 MPa x6 mts (145PSI) EC	25	5,94	148,5
Tubo RV 25 mm x 1,25 MPa x 6 mts presion E/C	18	2,52	45,36
Adaptador GM 2 flex m	3	0,71	2,13
Abrazadera NM 60-63 (2,5) wi urza perno	12	1,9	22,8
Union GM 2 flex	3	0,71	2,13
Adaptador ER 63 x 2 h PVC EC-R	2	1,6	3,2
Reductor ER 50 x 40 EC PVC	1	0,7	0,7
Tee ER 40 x 25 EC PVC	6	0,85	5,1
Codo BQ 40mm x 90	9	0,94	8,46
Reductor ER 40 x 25 EC PVC	2	0,4	0,8
Asperson HT 1 2 naandanjain 5022macho boquilla 3,5 x 2,5 mm	13	4,98	64,74
Adaptador ER 25 x 34m EC PVC	6	0,25	1,5
Total			1645,1

11.11. Anexo 11. Ecuaciones del diseño agronómico del sistema de riego por goteo.

Corrección por efecto de localización (Kl)

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

$$A = \frac{3.1416x(1,43)^2}{4 (1,25 * 2)}$$

$$A = 0,64$$

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

$$\mathbf{Aljibury} \Rightarrow Kl = 1,34 A \quad Kl = 0,86$$

$$\mathbf{Decroix} \Rightarrow Kl = 0,1 + A \quad Kl = \mathbf{0,74}$$

$$\mathbf{Hoare} \Rightarrow Kl = A + 0,5(1 - A) \quad Kl = \mathbf{0,82}$$

$$\mathbf{Keller} \Rightarrow Kl = A + 0,15(1 - A) \quad Kl = 0,70$$

De estos valores se promedia los medios dando como resultado un Kl de 0,78.

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 $5000 m^2$ un $Ka = 1,06$

Las necesidades de agua para la planta son:

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

$$Etrl = 2,10 * 0,78 * 1,20 * 1,06$$

$$Etrl = 2,09 \text{ mm/día}$$

Necesidades netas de riego (Nn)

$$Nn = Etrl$$

$$Nn = 2,09 \text{ mm/día}$$

Necesidades totales de riego (Nt)

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

$$K = 1 - 0,9$$

$$K = 1 - 0,10$$

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

$$Nt = \frac{2,09 \text{ mm/día}}{0,9(1 - 0,1)}$$

$$Nt = 2,58 \text{ mm/día}$$

Necesidades diarias por árbol

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

$$N_{diarias} = 2,58 \text{ m/día} * 1,25 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$N_{diarias} = 6,45 \text{ l planta/día}$$

Área mojada por emisor

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

$$Ae = \frac{3,1416 * (1,14)^2}{4}$$

$$Ae = 1,02 \text{ m}^2$$

Número de emisores por planta.

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

$$n_e \geq \frac{1,25 * 20\%}{100 * 1,02 \text{ m}^2}$$

$$n_e = 0,5$$

Separación entre emisores

- Separación máxima

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

$$Se = 0,57(2 - \frac{30}{100})$$

$$Se = 0,97$$

- Separación mínima

$$Se = 0,57(2 - \frac{15}{100})$$

$$Se = 1,05$$

- Separación promedio

$$Se_{promedio} = \frac{0,97 + 1,05}{2}$$

$$Se_{promedio} = 1,01$$

Porcentaje de superficie mojada real

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

$$P = \frac{2 * 100 * 1,02}{1,25}$$

$$P = 82\%$$

Lamina neta

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

$$Ln = 10\ 000 * \left(\frac{25,21 - 14,84}{100} * 0,40 * 1,20 \right) 0,45$$

$$Ln = 223,99 \text{ t/m}^3$$

$$Ln = 22,39 \text{ mm}$$

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:

$$Ln = 22,39 \text{ mm} * \%P$$

$$Ln = 22,39 \text{ mm} * 0,82$$

$$Ln = 18,35 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego (I):

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

$$Fr = \frac{18,35 \text{ mm}}{2,58 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 7,11 \text{ dias} = 7 \text{ dias}$$

Tiempo de riego

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

$$t = \frac{2,58 \text{ mm/día} * 7,11 \text{ dias}}{2u * 4 \text{ l/h}}$$

$$t = 2,29 \text{ horas} = 2 \text{ hora } 17 \text{ min}$$

11.12. Anexo 12. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

Perdida de carga máxima admisible

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

$$h \text{ máx.} = \frac{0.1 * 10}{0,5}$$

$$h \text{ máx.} = 2,10 \text{ m}$$

Tabla 25

Características de las laterales.

LATERALES DE RIEGO	
Material	PVC
Longitud	32 m
Caudal	0,017 l/s
Coefficiente de rugosidad	140
Diámetro interno	13,6 mm
Área	0,00014 m ²
Presión de tubería	0,10 MPa

Caudal de la tubería lateral

$$Ql = Qe * Ngl$$

$$Ql = 4 \text{ l/h} * 16$$

$$Ql = 128 \text{ l/h} = 0,017 \text{ l/s}$$

Perdidas de carga por fricción en la lateral de riego

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

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{0,017 \text{ l/s}}{140}\right)^{1.852} * (13,6 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,002 \text{ m/m}$$

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

$$F = \left(\frac{2 * 16}{(2 * 16) + 1} \right) * \left(\frac{1}{1.8 + 1} \right) + \left(\frac{(1.75 - 1)^{1/2}}{6 * 16^2} \right)$$

$$F = 0,39$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,002 \text{ m/m} * 32 \text{ m} * 0,39$$

$$\mathbf{hf = 0,024 \text{ m}}$$

- Velocidad permisible de flujo

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

V = 0,50 ; se asume ese valor como minimo para cumplir con los requerimientos de diseño

Presión a la entrada del lateral

$$Po = PN + 0.73 * hfl - \frac{\Delta z}{2}$$

$$Po = 10 \text{ m} + 0,73 * 2,10 \text{ m} - \frac{3}{2} \text{ m}$$

$$Po = 10,03 \text{ m}$$

Presión al final del lateral

$$Po = PN - 0.27 * hfl + \frac{\Delta z}{2}$$

$$Po = 10 \text{ m} - 0,27 * 2,10 \text{ m} + \frac{3}{2} \text{ m}$$

$$Po = 10,93 \text{ m}$$

Tabla 26*Características de la tubería secundaria.*

TUBERÍA SECUNDARIA	
Material	PVC
Longitud	12 m
Caudal	0,28 l/s
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	32 mm
Área	0.0007 m ²
Presión de tubería	1.25 MPa

Caudal de la tubería secundaria

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

$$Q_s = 4 \text{ l/h} * 256$$

$$Q_s = 1024 \text{ l/h} = 0,28 \text{ l/s}$$

Perdidas de carga por fricción en la tubería secundaria de riego

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

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{0,28 \text{ l/s}}{150} \right)^{1.852} * 32^{-4.87}$$

$$J = 0,009 \text{ m/m}$$

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

$$F = \left(\frac{2 * 16}{(2 * 16) - 1} \right) * \left(\frac{1}{1.8 + 1} \right) + \left(\frac{(1.6 - 1)^{1/2}}{6 * 16^2} \right)$$

$$F = 0.40$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0,009 \text{ m/m} * 12 \text{ m} * 0,40$$

$$hf = 0,040 \text{ m}$$

- Velocidad permisible de flujo

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

$V = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; se asume ese valor como minimo para cumplir con los requerimientos de diseño

Presión en la entrada de la tubería secundaria

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

$$Po = 10,03 + 0,040 - 3$$

$$Po = 7,07 \text{ m}$$

Tabla 27

Características de la tubería principal.

TUBERÍA PRINCIPAL	
Material	PVC
Longitud	60 m
Caudal	0,28 l/s
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	32 mm
Área	0.0007 m ²
Presión de tubería	1.25 Mpa

Caudal de la principal

$$Qp = Qs * Nl$$

$$Qp = 0,28 \text{ l/s} * 1$$

$$Qp = 0,28 \text{ l/s}$$

Perdidas de carga por fricción en la tubería principal de riego

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

$$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{0,28 \text{ l/s}}{150}\right)^{1.852} * (32 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0,009 \text{ m/m}$$

$$hf = J * l$$

$$hf = 0,009 \frac{\text{m}}{\text{m}} * 60$$

$$hf = 1,02 \text{ m}$$

- Velocidad permisible de flujo

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

V = 0,50 ; se asume ese valor como minimo para cumplir con los requerimientos de diseño

Carga Dinámica Total

$$CDT = P_0 + hf_{l_{s1}} + hf_{l_{s2}} + hf_{l_{s3}} + hf_l + hf_{l_{filtro}} + hf_{l_{acc}}$$

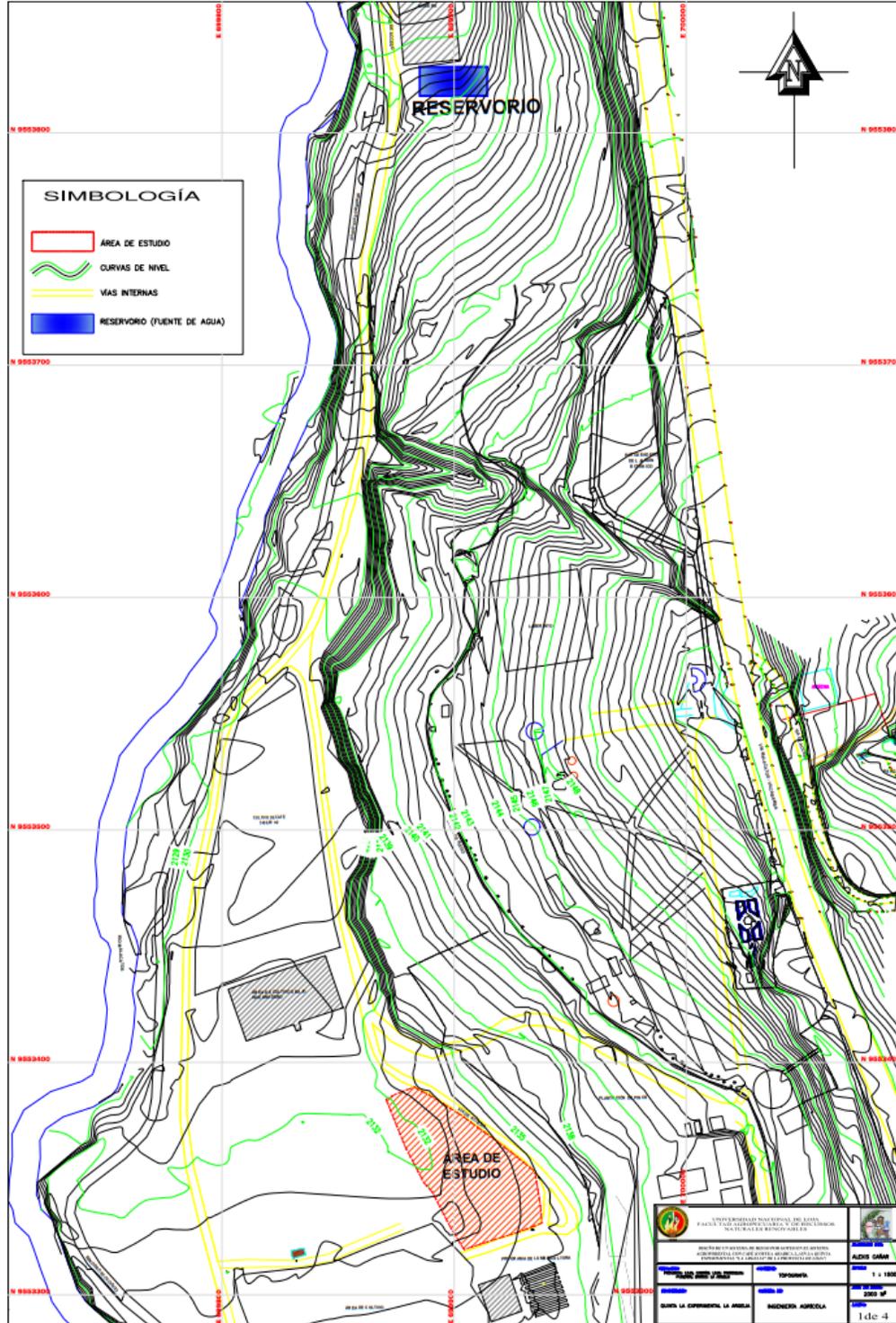
$$CDT = 10 + 0,07 + 0,07 + 0,07 + 1,02 + 4,00 + 2,00$$

$$CDT = 17,22 \text{ mca}$$

11.13. Anexo 13. Plano de levantamiento topográfico.

Figura 15

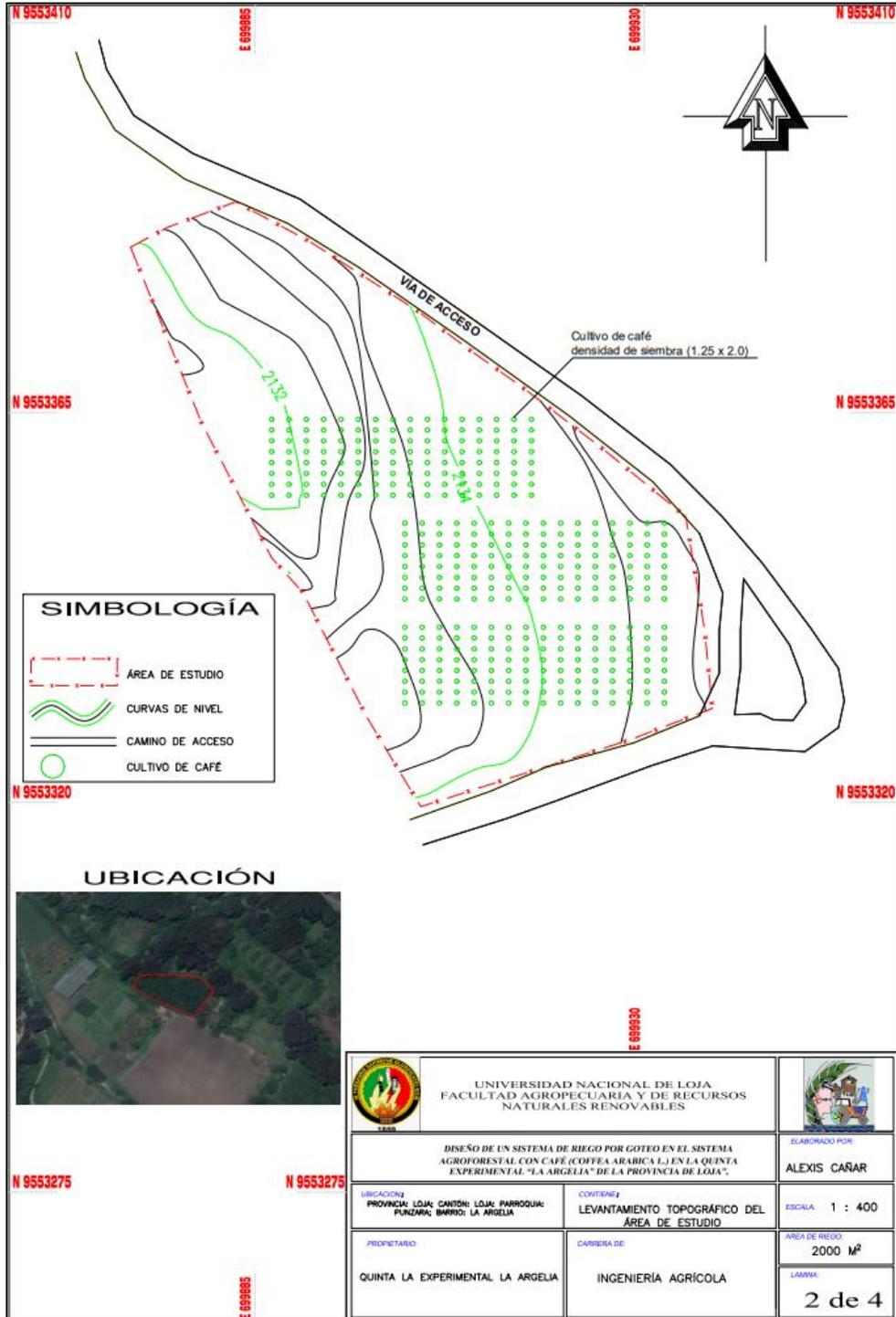
Levantamiento topográfico de la zona de estudio.



11.14. Anexo 14. Levantamiento topográfico del sistema de riego del sistema.

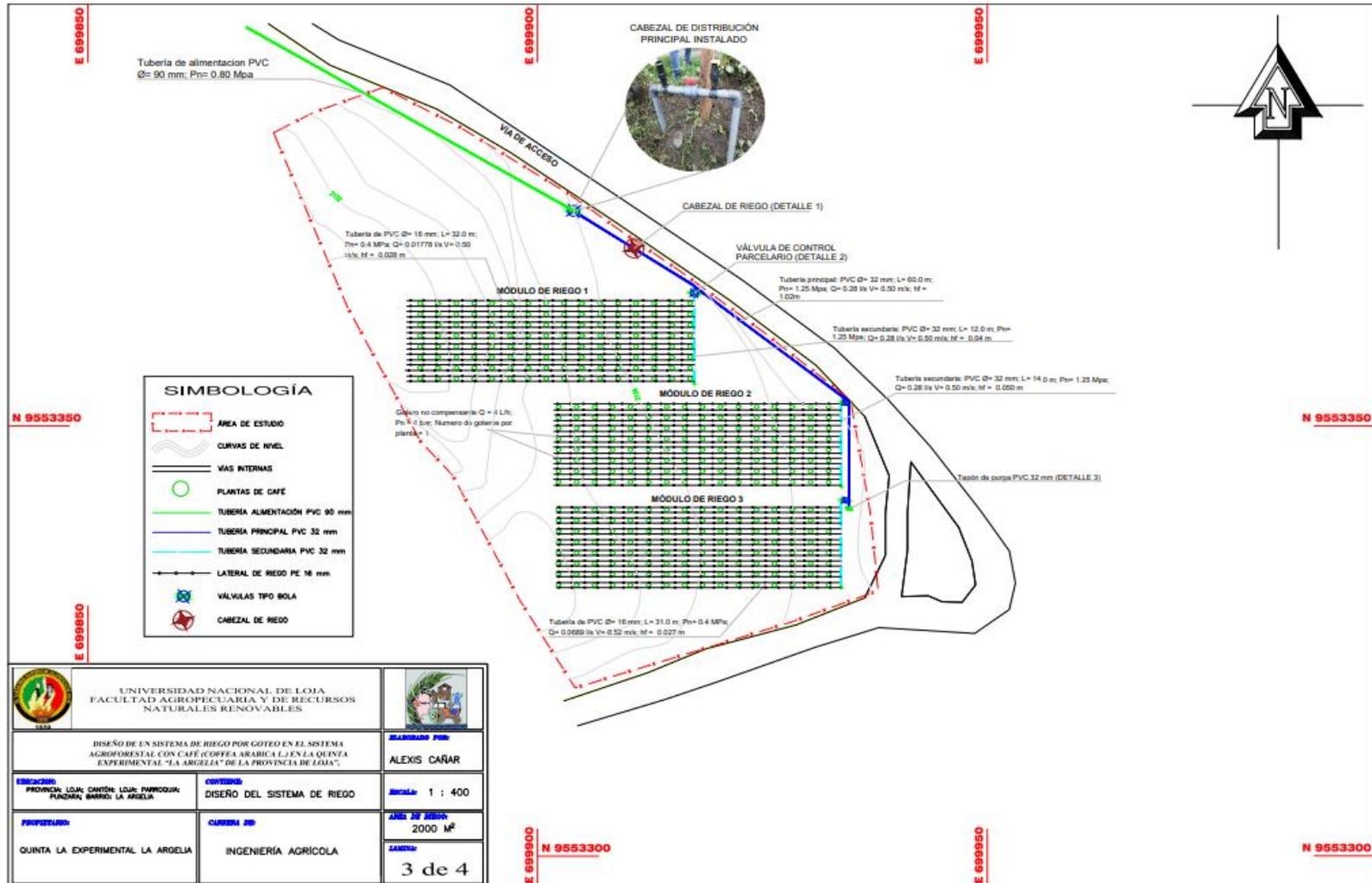
Figura 16

Levantamiento topográfico del área de implementación.



11.15. Anexo 15. Diseño del sistema de riego.

Figura 17
Diseño del sistema de riego.



11.17. Anexo 17. Certificado de aprobación de cambio de objetivo y modificación del título.



Carrera de
Ingeniería
Agrícola

Loja, 09 de agosto de 2022

Ing.

Pedro Manuel Guaya Pauta

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA – FARNR-UNL.

De mi consideración:

Yo, **Alexis Gabriel Cañar Morocho**, con cédula de identidad **1105306532**, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, me encuentro en la ejecución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **"DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffea arábica L.) EN LA QUINTA EXPERIMENTAL "LA ARGELIA" DE LA PROVINCIA DE LOJA"**, aprobado mediante el oficio Nro. 0244 -2022 CIA-FARNR-UNL, en el cual el segundo objetivo específico es: *Diseñar, instalar y evaluar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental "La Argelia"*, en vista de que no fue posible la adquisición de los materiales para la instalación del sistema de riego, lo cual provocó que no se pueda dar cumplimiento con el segundo objetivo de la investigación, y, acogiendo las sugerencias del Director del Trabajo de Integración Curricular, me permito informar que dicho objetivo ha sido modificado a: *Diseñar un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café en la Quinta Experimental "La Argelia"*, por lo tanto y a causa de dicha modificación el título de la investigación será: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ (Coffea arábica L.) EN LA QUINTA EXPERIMENTAL "LA ARGELIA" DE LA PROVINCIA DE LOJA"** en consecuencia, solicito a Ud. comedidamente la aprobación de la modificación propuesta con la finalidad de culminar el Trabajo de Integración Curricular.

Por la favorable atención que brinde a la presente, anticipo mis agradecimientos.

Atentamente.


Alexis Gabriel Cañar Morocho
C.I. 1105306532
alexis.g.canar@unl.edu.ec

Autorizado
Guaya Pauta

11.18. Anexo 18. Respaldo fotográfico.





11.19. Anexo 19. Certificación de traducción del resumen de Trabajo de Integración Curricular.

Loja, 5 de julio del 2023

Yo, Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, con cédula de identidad 1104226913, como traductora certificada por el Ministerio de trabajo del Ecuador con licencia número MDT-3104-CCL-252643, certifico que la traducción del resumen del trabajo de integración curricular titulado **“Diseño de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (coffea arabica L) En la quinta experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.”**, es precisa en mis capacidades como traductora certificada.

El trabajo en mención es de autoría del señor **Alexis Gabriel Cañar Morocho**, con cédula de identidad **1105306532**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Agrícola** de la Universidad Nacional de Loja.

I, Xilena Aldeán Sandoval, certify that I am fluent in the English and Spanish language and that the abstract of the thesis belonging to **Alexis Gabriel Cañar Morocho** is an accurate translation of its original Spanish version.



XILENA ELIZABETH
ALDEAN SANDOVAL

Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, Mg.

Traductora/Translator

Traductor/Translator: Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval

Número de licencia/Acreditation number: MDT-3104-CCL-252643

Correo electrónico/E-mail: xaldeans@gmail.com

Teléfono/Phone number: +593 989491170