



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 CULTIVO DE CAFÉ
(*Coffea arabica*) EN LA FINCA AGROLOJA UBICADA EN EL SECTOR SANTANA
DE LA PARROQUIA MALACATOS DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA**

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del Título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Andrea Carolina Gaona Costa

DIRECTOR:

Ing. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta M.Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 11 de septiembre del 2020

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta M.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION.

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN LA FINCA AGROLOJA UBICADA EN EL SECTOR SANTANA DE LA PARROQUIA MALACATOS DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA**”, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, de la autoría de la estudiante **Andrea Carolina Gaona Costa**, con **cédula de identidad** Nro. **1104890031**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo su presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta M.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Andrea Carolina Gaona Costa**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1104890031

Fecha: Loja, 6 de diciembre del 2023

Correo electrónico: acgaonac@unl.edu.ec

Teléfono: 0968676086

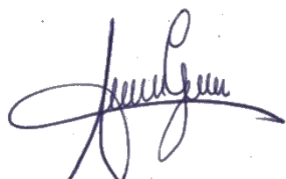
Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Andrea Carolina Gaona Costa**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN LA FINCA AGROLOJA UBICADA EN EL SECTOR SANTANA DE LA PARROQUIA MALACATOS DEL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los seis días de diciembre del dos mil veintitrés.



Firma:

Autora: Andrea Carolina Gaona Costa

Cédula: 1104890031

Dirección: Oña Azuay – Ecuador

Correo electrónico: acgaonac@unl.edu.ec

Teléfono: 0968676086

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta M.Sc.

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo a Dios todopoderoso, por haberme brindado fortaleza y salud para concluir el presente Trabajo de Titulación, y por ayudarme a satisfacer mis necesidades espirituales, intelectuales y materiales.

A sí mismo, con dedicación especial a mis padres por ser pilares de mi formación humana y profesional. Gracias **Walter Leonardo Gaona Salazar** porque sin esos primeros pasos donde tu apoyo fue total yo no hubiese llegado a esta etapa; agradezco a Dios por haberme permitido cumplir lo que algún día te prometí papá. Gracias **Mercedes Rosario Costa Cañar** por ser la vereda para llegar a la vida, por cuidarme y apoyarme siempre mamá.

A mis hermanos, **Diana, Daniela, Daniel, Anthony** a quienes deseo éxito en la vida en su propia connotación de la felicidad. Gracias por todo el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento de mi vida educativa, estando en las buenas y en las malas. A mis sobrinos: **Dylan y Samara** por ser parte de mi sueño logrado.

A mis hijas **Allison y Emily** que iluminan cada día de “mi existir” haciendo de este el proyecto más hermoso a realizar. Gracias pequeñas, por regalarme parte del tiempo que les pertenecía para la elaboración del Trabajo de Titulación, por regalarme sus caricias, sus sonrisas llenas de inocencia y sobretodo por enseñarme día a día lo grandiosas que son las pequeñas cosas.

A mi esposo porque indudablemente su apoyo y amor han contribuido a la plenitud de cada meta lograda. Gracias **Kevin Macas** por la felicidad que me has hecho disfrutar en estos últimos años de mi vida.

Y finalmente a toda mi **familia** porque con sus oraciones, consejos y palabras hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Andrea Carolina Gaona Costa

Agradecimiento

A Dios por permitirme vivir y darme fortaleza y sabiduría para salir adelante en cada uno de los objetivos planteados y poder alcanzar la meta de terminar mi carrera, por darme la fuerza necesaria para superar cualquier obstáculo durante este camino y no caer en los problemas que se presentaban y por bendecirme con la posibilidad de caminar a su lado durante toda mi vida. A nuestra casa de estudios, Universidad Nacional de Loja por abrir sus puertas para formarme profesionalmente, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola, a los señores catedráticos de nuestra carrera quienes con sus enseñanzas contribuyeron con mi formación profesional y me orientaron en la elaboración del presente Trabajo de Titulación.

A mi asesor, Ingeniero Pedro Guaya por su orientación patrocinadora y su cooperación desinteresada para la culminación del presente Trabajo de Titulación.

Al Ingeniero Ángel Reyes, propietario de la Finca “Agroloja”, gracias por su apoyo y por brindarme la oportunidad de desarrollar mi Trabajo de Titulación en su propiedad.

A mis grandes ejemplos de vida, mis queridos padres: Walter y Mercedes, quienes son los motivadores de mi vida, los cuales han sido participes en todo este proceso que sin duda alguna nunca desconfiaron de mí y me han demostrado su gran amor; corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A todas las personas que se cruzaron en este camino, que de una u otra manera me apoyaron y me dieron palabras de aliento y apoyo.

Andrea Carolina Gaona Costa

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexo	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
ABSTRACT	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1 CULTIVO DE CAFÉ	6
4.1.1 LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ A NIVEL MUNDIAL, NACIONAL Y PROVINCIAL	6
4.1.2 TAXONOMÍA, MORFOLOGÍA Y REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CAFÉ	9
4.1.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS	11
4.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO	12
4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS	12
4.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS.....	13
4.3 CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO	15
4.3.1 CONTENIDO DE AGUA EN UNIDADES DE MASA (θ_M)	15
4.3.2 CONTENIDO DE AGUA EN UNIDADES DE VOLUMEN (θ_V).....	15
4.3.3 CONTENIDO DE AGUA EN UNIDADES LINEALES (MM).....	16
4.4 ENERGÍA DEL AGUA EN EL SUELO	16
4.4.1 POTENCIAL DE AGUA EN EL SUELO	16
4.5 CURVA CARACTERÍSTICA DE HUMEDAD DEL SUELO	17
4.5.1 PUNTOS MÁS IMPORTANTES DE LA CURVA DE RETENCIÓN	18
4.6 MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO	19
4.6.1 INFILTRACIÓN.....	19

4.7	RIEGO POR GOTEO	20
4.7.1	VENTAJAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	21
4.7.2	DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	21
4.7.3	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	21
4.7.4	DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO	24
5.	Metodología.....	32
5.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	32
5.1.1	CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DE MALACATOS	32
5.2	MATERIALES Y EQUIPOS	33
5.3	MÉTODOS	33
5.3.1	INFORMACIÓN PRIMARIA	34
5.3.2	METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO.....	34
5.3.3	METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO	34
5.3.4	METODOLOGÍA PARA EL TERCER OBJETIVO	37
6.	Resultados	47
6.1	RESULTADOS DE INFORMACIÓN PRIMARIA	47
6.2	RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO.....	47
6.3	RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO.....	52
6.3.1	CONSTANTES HIDROFÍSICAS Y FÍSICAS DEL SUELO.....	52
6.3.2	CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO.....	53
6.3.3	INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	53
6.4	RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO	54
6.4.1	DISEÑO AGRONÓMICO.....	54
6.4.2	DISEÑO HIDRÁULICO	57
6.4.3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	62
7.	Discusión.....	64
7.1	DISCUSIÓN DEL PRIMER OBJETIVO.....	64
7.2	DISCUSIÓN DEL SEGUNDO OBJETIVO	65
7.3	DISCUSIÓN DEL TERCER OBJETIVO	67
8.	Conclusiones	69
9.	Recomendaciones	70
10.	Bibliográfica.....	71
11.	Anexos	84

Índice de Tablas:

Tabla 1.	Diámetro mojado del bulbo en función de la textura.....	40
Tabla 2.	Actividad a la que se dedica.....	47
Tabla 3.	Superficie de terreno.....	48
Tabla 4.	Tenencia de la tierra.....	48
Tabla 5.	Superficie de terreno destinada a los cultivos.....	49
Tabla 6.	Métodos de riego utilizados en el barrio Santa Ana.....	49
Tabla 7.	Superficie regable en el predio.....	50
Tabla 8.	Que variedad de café cultiva.....	50
Tabla 9.	A quien está destinada la producción de café.....	51
Tabla 10.	Cantidad de café que vende al año.....	51
Tabla 11.	Como vende el café.....	51
Tabla 12.	Precio del café.....	52
Tabla 14.	Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	52
Tabla 13.	Resultados del segundo objetivo.....	54
Tabla 15.	Cálculo de la longitud equivalente.....	57
Tabla 16.	Dimensionado del lateral crítico.....	58
Tabla 17.	Resultados del lateral crítico.....	58
Tabla 18.	Resultados de la presión máxima y mínima del lateral.....	58
Tabla 19.	Dimensionado de la tubería secundaria.....	59
Tabla 20.	Resultados de la tubería secundaria.....	59
Tabla 21.	Dimensionamiento de la tubería principal.....	60
Tabla 22.	Resultados de la tubería principal.....	60
Tabla 23.	Dimensionamiento de tuberías del sistema de riego por goteo.....	61
Tabla 24.	Estación considerada en la zona de estudio.....	90
Tabla 25.	Precipitación total (mm) de la Estación Meteorológica Malacatos (1992-2012).....	90
Tabla 26.	Clasificación de la infiltración según el USDA de los EE. UU.....	93
Tabla 27.	Presupuesto del diseño.....	99

Índice de Figuras:

Figura 1. Relación caudal - presión de emisores según régimen.....	24
Figura 2. Zona de estudio	32
Figura 3. Coeficiente de advección de acuerdo con el área del terreno.....	39
Figura 4. Curva de retención de agua en el suelo.	53
Figura 5. Gotero seleccionado.	56
Figura 6. Curva de H – Q de la electrobomba y características.....	62
Figura 7. Datos de partida para determinar el volumen de un reservorio.....	88
Figura 8. Diagrama triangular para las condiciones físicas del suelo.....	88
Figura 9. Precipitación efectiva de Malacatos (CROPWAR).....	90
Figura 10. Curva del coeficiente del (kc) del cultivo de café.	91
Figura 11. Zona de estudio.	95
Figura 12. Reservorio de la Finca Agroloja.....	95
Figura 13. Levantamiento topográfico de la zona de estudio.	96
Figura 14. Obtención de las muestras inalteradas.....	96
Figura 15. Aplicación de encuestas.	96
Figura 16. Toma de presión con el manómetro.	97

Índice de Anexos:

Anexo 1. Encuesta	84
Anexo 2. Análisis de laboratorio	87
Anexo 3. Cálculo del volumen del reservorio	88
Anexo 4. Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo	88
Anexo 5. Estación meteorológica de la zona de estudio	90
Anexo 6. Precipitación efectiva "Cropware 8.0"	90
Anexo 7. Curva de coeficiente (kc) del cultivo de café.....	91
Anexo 8. Ficha técnica del gotero	92
Anexo 9. Velocidad de infiltración.....	93
Anexo 10. Mapa geológico de la parroquia Malacatos	94
Anexo 11. Respaldo fotográfico	95
Anexo 12. Presupuesto general.....	98
Anexo 13. Plano topográfico	100
Anexo 14. Diseño del sistema de riego de goteo.....	101
Anexo 15. Planimetría y perfil de la línea de conducción.....	102
Anexo 16. Detalles técnicos del sistema de riego por goteo	103
Anexo 17. Certificación de traducción del Abstract.....	104

1. Título

Diseño de un sistema de riego por goteo en cultivo de café (*Coffea arabica*) en la finca Agroloja ubicada en el sector Santana de la parroquia Malacatos del cantón y provincia de Loja

2. Resumen

En la finca Agroloja la propiedad del señor Ángel Reyes se encuentra ubicada en el barrio Santana, parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja se realizó el diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea Arabica*), con el objetivo de contribuir al manejo eficiente del agua y el suelo. Se encuestaron a productores de la zona a fin de caracterizar la situación productiva del cultivo de café, así mismo se evaluaron las constantes hidrofísicas del suelo como es: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), textura y densidad aparente; se tomaron muestras de suelo disturbadas y no disturbadas, para estas últimas se utilizaron cilindros Koppecky de 100 cm³ a una profundidad de 20 cm. En el diseño agronómico se determinó las necesidades hídricas del cultivo de café 4,3 mm/día, equivalente a 12,9 litros/árbol/día. Los parámetros de riego determinados en el estudio fueron: lámina de riego de 13,3 mm, la frecuencia de riego es diaria, en la que se aplicará una lámina de 1,43 mm (4,3 litros/árbol/día) en un tiempo de 65 minutos. Además, el área de riego se controlará con una sola válvula, cuyo caudal es de 1,02 l/s. El diseño hidráulico determinó la red de tubería principal, secundaria y lateral, con diámetros nominales de 40, 40 y 12 mm respectivamente. La carga total necesaria fue de 12 m, la misma que se la suministra con una electrobomba considerando que la diferencia natural es de 8m. El diseño de riego por goteo tiene como finalidad, mejorar la eficiencia del uso del agua, optimizar la mano de obra y elevar la producción y productividad del cultivo, evitando la pérdida de fertilidad del suelo por acción de la erosión y percolación profunda.

Palabras claves: cultivo de café, riego por goteo.

Abstract

On the Agroloja farm, the property of Mr. Ángel Reyes, located in the Santana neighborhood, Malacatos parish, canton and province of Loja, the design of a drip irrigation system for the cultivation of coffee (*Coffea Arabica*) was carried out, with the objective to contribute to the efficient management of water and soil. Producers in the area were surveyed in order to characterize the productive situation of coffee cultivation, and the hydrophysical constants of the soil were evaluated, such as: field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), texture and apparent density. Disturbed and undisturbed soil samples were taken; for the latter, 100 cm³ Koppecky cylinders were used at a depth of 20 cm. In the agronomic design, the water needs of the coffee crop were determined to be 4,3 mm/day, equivalent to 12,9 liters/tree/day. The irrigation parameters determined in the study were: 13.3 mm irrigation sheet, the irrigation frequency is daily, in which a 1,43 mm sheet will be applied (4,3 liters/tree/day) in a time of 65 minutes. In addition, the irrigation area will be controlled with a single valve, whose flow rate is 1,02 l/s. The hydraulic design determined the main, secondary and lateral pipe network, with nominal diameters of 40, 40 and 12 mm respectively. The total load necessary was 12 m, the same as that supplied with an electric pump considering that the natural difference is 8 m. The purpose of drip irrigation design is to improve the efficiency of water use, optimize labor and increase crop production and productivity, avoiding the loss of soil fertility due to erosion and deep percolation.

Key words: Coffee cultivation, drip irrigation.

3. Introducción

El cultivo de café se encuentra dentro de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, debido a su importancia económica y social en la generación de divisas y empleo. Se encuentra entre los diez cultivos con mayor superficie, además, es sembrado en 21 provincias del país, las principales son Manabí, Sucumbíos, Orellana y Loja (Monteros, 2016).

En la provincia de Loja el panorama de la mayor producción de café se encuentra en los cantones de Puyango con el 39 %, Chaguarpamba 15 %, Olmedo 15 %, Quilanga 7 %, Espíndola 7 % y Loja 5 %, mientras que el 12 % restante de la producción de café son del resto de cantones en la provincia de Loja (BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, 2020, como citó Macas, 2021).

Los cultivos existentes en la parroquia Malacatos son de ciclo corto y permanente, siendo el ciclo corto la actividad más dinámica en épocas de lluvia; los productos de ciclo corto que se cultivan son: maíz suave, fréjol, tomate, pimiento y los permanentes como caña de azúcar, café y frutales. Algunos productos se comercializan el 100 % y otros los excedentes por ser el sustento familiar. La actividad agrícola se realiza de forma precaria por no contar con un buen servicio de agua para riego y baja tecnificación (Benítez, 2012).

En Ecuador el aprovechamiento del agua constituye el 82 % del consumo total para el riego, el resto se distribuye para uso doméstico con el 12,3 % y el 5,6 % para uso industrial (Zapatta y Gasselin, 2005). Bajo este contexto la Subsecretaría de Riego y Drenaje (2019) indica que uno de los principales problemas del riego en Ecuador es la baja eficiencia de los sistemas de riego; en el caso de los sistemas públicos, su eficiencia es de 63 %, en los comunitarios se presenta una situación más compleja, su eficiencia es del 53 %, y en los privados su eficiencia alcanza el 71 %.

La baja productividad del café, en particular en el valle de Malacatos, se atribuye principalmente a la irregularidad de la disponibilidad de agua aprovechable en el suelo en las etapas de floración (septiembre y octubre) y de cuajado del fruto (noviembre y diciembre). Además, dado que el café se lo cultiva en sistemas agroforestales en terrenos de fuerte pendiente (promedio: 60 %), la aplicación de la escasa agua de riego al cultivo, la realizan por medio del método de riego denominado “perdido”, de muy baja eficiencia lo que se traduce en desperdicio del agua y erosión de los suelos, incluyendo el arrastre y pérdida de abono orgánico.

Consecuentemente con lo señalado, a través del presente trabajo, se ha planteado diseñar un sistema de riego por goteo en un área de 2 066 m² de café, para lo cual, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al manejo eficiente del agua y suelo en el cultivo de café a través de un sistema de riego por goteo en la finca Agroloja de la parroquia Malacatos del cantón y provincia de Loja.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la situación productiva actual del café (*Coffea arábica*) en la finca Agroloja de la parroquia Malacatos.
2. Determinar las características edafoclimáticas de la zona de estudio.
3. Realizar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo para la producción de café.

4. Marco Teórico

4.1 Cultivo de café

4.1.1 *La producción de café a nivel mundial, nacional y provincial*

Infocafé (2015), señala que los tres mayores productores de café a nivel mundial son: Brasil con 2 594 100 Kg (30,2 %), Vietnam con 1 650 000 Kg (19,2 %) y Colombia con 810 000 Kg (9,4 %). Ecuador se encuentra en el puesto diecinueve con 42 000 kg (0,49 %).

Según Infocafé (2015), las dos variedades de café que existen son arábigo (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*), dentro de las cuales hay una multitud de subvariedades. La variedad arábigo representa el 75 % de la producción mundial; mientras que la variedad robusta le corresponde el 25 % restante. Esta variedad, tiene mayor contenido de cafeína, un sabor más fuerte, mayor acidez y es un café menos aromático en comparación que el arábigo.

4.1.1.1 El cultivo de café en Ecuador. El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, pues se encuentra entre los diez cultivos con mayor superficie. La especie de café arábigo representa el 63 % de la producción nacional de café, por otro lado, el café robusta constituye el 37 %. Además, el 85 % de los agricultores cultivan café arábigo, mientras que, el 15 % restante producen café robusta (El Productor, 2017).

Las privilegiadas aptitudes agroecológicas de este país han facilitado producir en prácticamente toda su geografía. Tungurahua es oficialmente el único territorio donde no se cultiva café, aunque se reportan algunas pequeñas cosechas en el cantón Baños (Miranda, 2021, p.52).

El café tiene relevante importancia en los órdenes: económico, social, ambiental y salud humana.

- ✓ En lo económico, se manifiesta en los siguientes aspectos: el aporte de divisas al estado, la generación de ingresos a familias cafetaleras, y fuentes de ingresos para los otros actores de la cadena productiva como: transportistas, comerciantes, exportadores, microempresarios, obreros de las industrias de café soluble y exportadoras de café en grano (Consejo Cafetalero Nacional [COFENAC], 2013, p. 1).
- ✓ En lo social, la caficultura involucra a casi todas las etnias como kichwas, Shuaras y Tsachilas, que se arraigan en un amplio tejido social (PROECUADOR, 2013, como citó en Venegas *et al.*, 2018).

- ✓ En lo ambiental, el café se cultiva básicamente en sistemas agroforestales y contribuye a la conservación de los recursos naturales y biodiversidad (Venegas *et al.*, 2018).
- ✓ En la salud humana, Gotteland & Valdivia (2007) indican que el consumo de café muestra correlación inversa con el riesgo de diabetes tipo 2, daño hepático y enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson.

4.1.1.1.1 Producción de café. En el Ecuador el cultivo del café tiene una extensión de 76 785 ha, de las cuales a la provincia de Loja le corresponden 7 457 ha equivalente a 9,7 % del área total. El rendimiento del café arábigo (*Coffea Arábica L.*) a nivel nacional durante el año 2019 fue de 0,30 t/ha resultado, obtenido principalmente por el uso de semillas certificadas, edad de plantación, asociatividad. El café robusta (*Coffea canephora*) tuvo un rendimiento para el mismo año de 0,58 t/ha debido a la aplicación de fertilizantes, implementación de sistemas de riego, y semillas certificadas

Las provincias con mayor rendimiento son: Morona Santiago con 1,22 t/ha, le siguen Galápagos, Pichincha y Zamora Chinchipe con 0,98; 0,66; 0,57 t/ha respectivamente. Las provincias con menor rendimiento son: Napo, Cotopaxi y Pastaza con 0,11; 0,11 y 0,07 t/ha, en su orden. La provincia de Loja presenta un rendimiento de 0,24 t/ha (Lema, 2019, pág. 4).

4.1.1.1.2 Exportaciones del café. De acuerdo a las estadísticas de la Asociación Nacional de Exportadores de Café “ANECAFE”, en el año 2019 se exportaron 12 554,47 sacos de 60 kilos de café arábigo y 11 749,72 sacos de 60 kilos de café robusta y hasta agosto del 2020 se han exportado 14 828,15 sacos de 60 kilos de estos dos tipos de café. Sánchez et al., (2020) anotan que las exportaciones del café robusta en el 2020 se distribuyeron en dos tipos: robusta 10 416,24 y robusta lavado 504 85 sacos de 60 kilos de café; siendo sus principales destinos de exportación Alemania con el 38,9 %, Rusia 26,2 %, Colombia 6,6 % y el porcentaje restante se distribuyeron en Turquía, Perú, México, Bélgica, Inglaterra, Polonia, Japón, entre otros.

4.1.1.1.3 Principales problemas que presenta el cultivo de café versus producción. El problema central de la caficultura ecuatoriana es la baja producción nacional que tiene como principales causas: prevalencia de los cafetales viejos, baja productividad, deficiente calidad e inocuidad, reducción del área cultivada, falta de incentivos para la producción y comportamiento errático del clima (COFENAC, 2013, p. 16).

Ecuador representa el 0,49 % de la producción mundial manteniéndose por debajo de 18 países, lo cual constituye una preocupación para la economía nacional ya que el principal problema es que las tierras no están siendo tratadas y explotadas eficientemente, mediante esta

cifra (0,49 %), se evidencia el bajo nivel de producción frente a otros países. La falta de tecnificación al momento de tratar tierras después de las cosechas genera esta externalidad negativa sobre futuros sembríos, disminuyendo las probabilidades de obtener mayores volúmenes de producción (Infocafe, 2015).

4.1.1.2 El cultivo de café en la provincia de Loja. La provincia de Loja es reconocida por poseer una gran diversidad de cultivos entre los que se destaca el café, rubro reconocido por su sabor, textura, olor y color, que lo ubica entre los mejores del país. Las condiciones agroecológicas, altitudinales y climáticas hacen que el productor posea una alta calidad y tenga la denominación de origen “Lojano café de origen”, reconocido a nivel nacional, así como en Francia, Bélgica, Países Bajos, Estados Unidos, Medio Oriente, Australia, Grecia, Corea y Alemania (La Hora, 2021).

Se cree que la caficultura en la provincia se cimento sobre la variedad típica, conocida como nacional; posteriormente las variedades caturra o bourbon. Sobre estas variedades, se estableció el parque cafetalero bajo sistemas agroforestales en gran parte de los cantones de la provincia y con un sistema de producción que garantiza la sostenibilidad económica de las familias cafetaleras, que es la “huerta lojana” (Sociedad de hecho, 2018).

En la provincia de Loja, el cultivo del café ocupa las siguientes áreas: Puyango: 2 259 ha (30,3 %); Paltas: 1 560 ha (20,9 %); Olmedo: 1 167 ha (15,6 %); Espíndola: 991 ha (13,3 %); Píndal: 621 ha (8,3 %); Quilanga: 475 ha (6,4 %) y Loja 384 ha (5,1%) (Mosaicos de sistemas de productivos a nivel nacional, 2015).

4.1.1.2.1 Organizaciones cafetaleras en la provincia de Loja. En la provincia de Loja existen actualmente varias organizaciones de primer grado, entre otras se tiene: PROCAP (Organización de Productores de Café de Altura de Puyango), la misma que llegó a agremiar en su seno a más de 300 productores de café del Cantón y a comercializar asociativamente más de 4 000 qq de CPS (Café Pergamino Seco) por cosecha año; APROCEC (Asociación de Productores de Café de Calvas), etc.

Como organización cafetalera de segundo grado existe solo una Federación, FAPECAFES (Federación Regional de Asociación de pequeños cafetaleros Ecológicos del Sur) que agremia a organizaciones de productores de Loja y Zamora, con una base de 1 200 familias cafetaleras (Sociedad de hecho, 2018).

La Asociación Agroartesanal de pequeños productores de café especial del cantón Loja (APECAEL) es una organización de pequeños productores ecológicos de Café especial de las parroquias sur-orientales del cantón Loja (Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Quinara y

Yangana) que genera de forma sostenible y asociativa café especial lo cual contribuye a mejorar las condiciones socio-económicas de las familias cafetaleras, la cual tiene como sede en San Pedro de Vilcabamba, cantón y provincia de Loja, siendo creada el 18 de marzo del 2008.

En octubre de 2014, APECAEL inaugura uno de los laboratorios de café más completos de la región, con el objetivo de permitir conocer las características de producto a ofrecer, todo esto con el apoyo de muchas manos amigas como FAPECAFES y el proyecto CADERS (APECAEL, 2023).

a) **Variedad de café**

La provincia de Loja se caracteriza por producir a diferentes pisos altitudinales cuyo intervalo va de 500 a 2200 m.s.n.m en Jimbura razón por la cual, predomina la especie de café arábigo. Esta variedad está conformada por un conjunto de variedades e híbridos que tienen características agronómicas y productivas diferenciadas.

Las variedades más comunes en algunos cantones cafetaleros se detallan a continuación:

- ✓ Loja – Vilcabamba: Típica, Caturra, Bourbon, Pacas, Catimor.
- ✓ Puyango: Caturra, Bourbon, Pacas, San salvador, Colombia
- ✓ Espíndola- Quilanga: Típica, Caturra, Bourbon, Pacas, San Salvador, Castilla (Sociedad de hecho, 2018).

4.1.2 Taxonomía, morfología y requerimientos climáticos del café

4.1.2.1 Origen. El café se originó en su forma silvestre conocida como Arábica en el altiplano de Abisinia (Etiopia). Existen varias leyendas respecto al descubrimiento de su uso como bebida, pero la más aceptada es la de Kaldi, un pastor de Abisinia quien observó que sus cabras saltaban alrededor muy excitadas y llenas de energía después de haber comido las hojas y frutos de este arbusto. Kaldi llevo los frutos y ramas de este arbusto al Abad de un monasterio quien habría descubierto la bebida del café al poner las cerezas al fuego, las que al tostarse produjeron un exquisito aroma (Gotteland & Valdivia, 2007).

4.1.2.2 Clasificación taxonómica. El café pertenece al género *Coffea* con aproximadamente 100 especies. No obstante, únicamente tres de estas se mencionan como cultivadas comercialmente, destacándose las dos primeras en el siguiente orden: *Coffea arábica* L., *C Canephora Pierrees* – Froehner y por último la *C.Liberica Bull ex Hiern*.

Reino: Vegetal
División: *Magnoliophyta*
Clase: Dicotyledoneae

Sub-Clase:	Asteridae
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiaceae
Género:	Coffea
Especies:	Arábica

Nombre científico: *Coffea arábica* (Sotomayor y Duicela, 1993).

4.1.2.3 Morfología del café. Raíz. - Los tipos de raíces que tiene el cafeto son: pivotante, axiales o de sostén, laterales y raicillas. La pivotante puede considerarse como la raíz central, su longitud máxima en una planta adulta es de 50 a 60 cm. Las raíces axiales o de sostén y las laterales se originan a partir de la pivotante; de las laterales generalmente se desarrollan las raicillas que, en un alto porcentaje (80 – 90 %), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo con un radio de 2,0 a 2,5 m a partir de la base del tronco. Las raicillas son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrimentos a partir del suelo (Alvarado y Rojas, 2007 citado por Castro, 2016).

Tallo. - Es leñoso, erecto y de longitud variable de acuerdo con el clima y tipo de suelo. En las variedades comerciales varía entre 2,0 y 5,0 m de altura. En una planta adulta, la parte inferior es cilíndrica, mientras que la parte superior (ápice) es cuadrangular y verde, con esquinas redondas y salidas. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, bandolas y hojas (Alvarado y Rojas, 2007, citado por Castro, 2016).

Hojas. - La hoja es un órgano importante para la planta debido a que ahí se realizan los procesos de fotosíntesis, transpiración y respiración. La lámina foliar generalmente mide de 12 a 24 centímetros. Posee una forma elíptica lanceolada, variando no solamente entre las especies y variedades sino también bajo condiciones de sombra regulada y cuando están en plena exposición solar (Sotomayor y Duicela, 1993).

Flor. - Las flores son pequeñas de color blanco y de olor fragante. Los cinco pétalos de la corola se unen formando un tubo, el número de pétalos dependen de la especie y la variedad de café (Monroig, sin fecha).

La flor del cafeto es hermafrodita y está formada por el cáliz, corola, estambres y pistilo. La autofecundación de las flores ocurre cuando el ovario es fecundado por el polen procedente de una misma flor, Generalmente, la autofecundación en café arábigo es alrededor del 93 por ciento y solo un 7 por ciento puede ocurrir por polinización cruzada. Esta característica de la

especie *C. arábica* ha permitido que se lo ubicara como una especie autógama (Sotomayor y Duicela, 1993).

Fruto. -El fruto del cafeto se denomina café cereza o baya; también se lo conoce como café uva, con una longitud de 10 a 17 mm. Dependiendo de la variedad se necesitan entre siete u ocho meses para que madure (Escalante, 2011 citado por Balón, 2016).

El fruto del cafeto es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario (Monroing, sf).

Luego de haber transcurrido 32 semanas de la apertura de las flores, el fruto de café alcanza su completa madurez, esto es después de 224 días de la floración (Sotomayor y Duicela, 1993).

4.1.3 Requerimientos climáticos

4.1.3.1 Temperatura. La temperatura media anual adecuada para los cafetos oscila entre 17 y 23 °C. En temperaturas inferiores a 10 °C, causan clorosis y parálisis de las hojas jóvenes (Instituto del café de Costa Rica [ICAFFE], 2011).

Figuerola *et al* (sf) señala que la temperatura es muy importante porque si es menor a 16°C se pueden quemar los brotes, y si la temperatura sobrepasa los 27°C hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis.

4.1.3.2 Luminosidad y sombra. Debido a sus orígenes, todas las plantas de café pueden adaptarse a vivir en ambientes con poca luz, sin embargo, la floración es estimulada significativamente por la luz solar directa y, en la medida que tenga una fertilización adecuada pueden aumentar su productividad (en particular el nitrógeno en adición con el sol). La sombra en ciertas condiciones ayuda a atenuar los efectos de los extremos de temperatura (alta y baja). Un beneficio adicional de la sombra es que mejora la calidad de taza del café (Wintgens, 2004, citado por Cabrera et al., 2017).

Carvajal (1984) menciona que un cafetal puede tener una sombra biodiversa conformada por una amplia gama de especies arbustivas y arbóreas, especialmente leguminosas como: *Inga spp.*, *Acacia sp.*, *Erythrina sp.* o *Leucaena sp.*

La mayoría de los cafetales arábigos en el Ecuador tienen excesiva sombra, situación que no permite un buen aprovechamiento de la energía solar en la fotosíntesis, por lo tanto, tienden a mostrar bajos niveles de productividad (Sotomayor y Duicela, 1993).

4.1.3.3 Humedad relativa. La humedad relativa es muy importante y esta va de la mano con las precipitaciones. Si la humedad relativa es mayor a 90 % hay riesgo de que la planta se enferme con hongos. Por ello, se aconseja que el ambiente tenga en un 65 a 90 % de humedad (Innatia, sin fecha).

4.1.3.4 Precipitación. La precipitación óptima para el cultivo de café arábigo varía de 1 200 a 1 800 mm distribuidos en nueve meses consecutivos, es por esto que el café requiere de un periodo de descanso de aproximadamente tres meses. Con las primeras lluvias, después del “descanso fisiológico”, los cafetos florecen. Para asegurar el desarrollo de los frutos, las plantas requieren de agua, de forma continua después de la floración (Enríquez y Duicela, 2014).

4.1.3.5 Viento. Los vientos fuertes causan sequedad de los tejidos vegetales y daños mecánicos, lo que también es propicio para la aparición de enfermedades. Por lo tanto, es conveniente elegir un terreno protegido por el viento o construir cortavientos para evitar la influencia de este. El umbral para no producir daños físicos ni fisiológicos al cafeto es de 20 a 30 km/hora (ICAFE, 2011).

4.2 Propiedades físicas y químicas del suelo

4.2.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas son las que se pueden evaluar por inspección visual o por el tacto. Pueden medirse contrastándolas con algún tipo de escala, de tamaño, consistencia, intensidad, etc. Cada suelo presenta un conjunto peculiar, de propiedades físicas, que depende de la naturaleza de sus componentes, de las cantidades relativas de cada uno de ellos y de la manera que se hallan mutuamente acoplados (Thomson, 2002, citado por López, 2016).

4.2.1.1 Textura. La textura de un suelo es una propiedad permanente y está determinada por el tamaño predominante de las partículas que lo componen. Se identifican 3 variedades de partículas: arena, limo y arcilla. Un suelo arenoso tiene una textura gruesa, un suelo arcilloso tiene una textura fina, un suelo limoso no tiene estructura, son impermeables y con mala aireación y un suelo con cantidades similares de arena, el limo y la arcilla, también llamado franco, tiene una textura media (Alocén, 2007).

Cuando las partículas están en proporciones iguales, la textura es franca. Los mejores suelos para cultivar café son los llamados francos (Vanegas, 2017). La textura ideal para una producción de café exitosa es una combinación de arena y limo, con la adición de un poco de arcilla, un suelo apto para el cultivo de café debe ser profundo, un poco más de 1,5 metros, libre de impedimentos como piedras, poroso y con una densidad de 1,5 g/cm³ (Marcos, 2019).

4.2.1.2 Estructura. Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados pedos. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente primordial 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 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2021).

Las estructuras granular, prismática y de bloques son las más favorables para las plantas de café. Al realizar labores agrícolas en exceso: araduras, rastreos, y en condiciones húmedas, disminución de la materia orgánica, impacto de la gota de lluvia, compactación por maquinaria y pastoreo; la estructura se deteriora rápidamente, se reduce la aireación, se dificulta la infiltración y percolación del agua en el suelo (Calvache, 2009, como citó Macas, 2021).

4.2.1.3 Profundidad efectiva. La profundidad del suelo para el desarrollo normal de la planta de café, debe ser igual o mayor a 0,7 metros debido a que las raíces pueden llegar a esa profundidad sin encontrar obstáculo alguno. En la mayoría de las zonas cafetaleras del país, los suelos tienen una profundidad que varía de 0,5 a 0,7 (Romero & Camilo, 2019).

4.2.1.4 Porosidad. Según Assan y Gorosito (2018) es la fracción del volumen del suelo no ocupado por la parte sólida, es decir, es la sumatoria de los espacios ocupados por la fase gaseosa y líquida totales.

$$P = 100 \left(1 - \frac{da}{dr} \right)$$

Donde:

P = Porosidad (%)

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

Dr = Densidad real (g/cm^3)

Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos de baja permeabilidad, los mejores suelos para el café son los francos, en los cuales la permeabilidad es moderada (Vanegas, 2017).

4.2.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas como materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo – planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996, como citó Bautista *et al.*, 2004).

4.2.2.1 Materia orgánica. La mayor parte de la materia orgánica se encuentra cerca de la superficie del suelo, la parte aéreas de las plantas que no se cosechan quedan en superficie y las raíces se convierten en materia orgánica cuando sus células pierden funcionalidad o mueren (Docampo, sin fecha).

La materia orgánica es un componente fundamental en los procesos edáficos y tiene un efecto positivo en la productividad de los sistemas agrícolas (Raison y Rab, 2001, como citó Medina *et al.*, 2017).

Varios estudios coinciden en que la MO, es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro, 2004, como citó Silva, sin fecha). Los suelos buenos para cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 8% (InfoAgro, sin fecha).

4.2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico. Es la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo o también se la define como el número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa).

Conocer la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de un suelo es fundamental, pues este valor indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Además, la CIC afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [INTAGRI], 2015).

4.2.2.3 El pH del suelo. Osorio (2012), menciona que en el suelo el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan acida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes.

Cuando el suelo tiene un pH cercano a la neutralidad o alcalino ($\text{pH} >$ o igual a 6,5), la abundancia de iones OH^- produce la precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso, cobre y zinc. De esta manera estos micronutrientes se vuelven no-disponibles para su absorción por las raíces de las plantas.

Como se mencionó, en suelos de pH bajo ($< 5,5$) la presencia de iones de Al restringe la solubilidad de fosfato, sulfato y molibdato. Igualmente, se restringe la nitrificación y la descomposición de la materia orgánica del suelo. El efecto será más severo si el pH es aún más bajo.

Según Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE, 2016), para el café el rango adecuado de pH se encuentra entre 5,0 y 5,5. Cuando el pH es mayor de 5,5 se neutraliza el Al^{3+} y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales.

4.3 Contenido de agua del suelo

Valarezo *et al.*, (1998) señala que el contenido de agua en el suelo puede expresarse de tres formas diferentes:

4.3.1 Contenido de agua en unidades de masa (θ_m)

Corresponde a la relación entre la masa de agua (M_w) y la masa de sólidos del suelo (M_s); se tiene al relacionar el cociente entre la masa de agua presente en la muestra húmeda y la masa de ésta después de haber sido seca a 105 °C por 24 horas; a lo que se conoce como contenido de agua gravimétrica.

Se expresa el contenido de agua en términos de fracción de unidad con la siguiente expresión:

$$\% \theta_m = \frac{\text{masa de agua } (M_w)}{\text{masa de sólidos del suelo } (M_s)} * 100$$

Donde:

$\% \theta_m$ = Contenido de humedad en términos de masa (%)

M_w = Masa de agua (g)

M_s = Masa de suelo (g)

El contenido de humedad en términos de masa puede ser mayor a 100 % en suelos altamente orgánicos o de origen volcánico, que retienen importantes cantidades de agua.

4.3.2 Contenido de agua en unidades de volumen (θ_v)

El contenido de humedad en unidades de volumen corresponde a la relación entre el volumen de agua V_w y el volumen total del suelo VT_s , se expresa mediante la siguiente relación:

$$\% \theta_v = \frac{(V_w)}{(VT_s)} * 100$$

Donde:

$\% \theta_v$ = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

V_w = Volumen de agua (cm³)

VT_s = Volumen total del suelo (cm³)

Para transformar el contenido de humedad en términos de masa a términos de volumen, se requiere disponer del valor de la densidad aparente (Da). Se emplea la siguiente relación:

$$\% \theta_v = \frac{Da}{D_w} * \% \theta_m$$

Donde:

D_a = Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

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

θ_m = Contenido de humedad en términos de masa (%)

4.3.3 *Contenido de agua en unidades lineales (mm)*

Para aplicaciones de riego y drenaje, es conveniente expresar el contenido de humedad en términos de lámina. Esta lámina se define como el volumen de agua θ_v , que contiene el suelo por unidad de área, hasta una profundidad específica D , se expresa mediante la siguiente relación:

$$La_{mm} = \% \theta_v * D$$

Donde:

La_{mm} = Lámina de riego (mm)

$\% \theta_v$ = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

D = Profundidad de riego específica (mm)

Silva *et al.*, (2015), mencionan que, en un balance hídrico, las entradas y salidas de agua del suelo se expresan en términos de altura de agua por lo que el contenido de agua en el suelo es conveniente expresarlo en términos de altura de agua (h) o columna de agua. Esto se consigue multiplicando el contenido volumétrico de humedad y la profundidad del suelo.

4.4 **Energía del agua en el suelo**

4.4.1 *Potencial de agua en el suelo*

Se define como el trabajo requerido para transferir una unidad infinitesimal de agua, desde un estado de referencia (donde el potencial es tomado como cero) a la situación donde el potencial tiene un valor definido. Se le llama potencial porque representa energía en función de masa, volumen o de peso (García *et al.*, sin fecha).

El potencial hídrico total del agua del suelo está determinado por:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_s$$

Donde:

Ψ_g = Potencial gravitacional

Ψ_p = Potencial de presión

Ψ_m = Potencial mátrico

Ψ_s = Potencial osmótico

4.4.1.1 Potencial gravitacional. El potencial gravitacional se debe a la fuerza de la gravedad que desplaza el agua hacia capas cada vez más profundas. Este potencial gravitacional del agua en un punto determinado del suelo está definido por la elevación de este punto con respecto a un nivel de referencia dado. Si el nivel de referencia está por encima, el potencial gravitacional es negativo, o si el nivel de referencia está por debajo dicho potencial es positivo (Pachés, sin fecha).

4.4.1.2 Potencial matricial. Es la parte del potencial total que se debe a las fuerzas de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo, y a las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. El conjunto de estos dos tipos de fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción (por la matriz del suelo) y por capilaridad (por las mismas moléculas de agua) en suelos con un contenido hídrico por debajo del nivel de saturación. Desde el punto de vista agronómico el potencial mátrico es el más importante del potencial total (Angella et al., 2016).

4.4.1.3 Potencial de presión. El potencial de presión es dependiente de las fuerzas de presión provocadas por la atmósfera (Barría y Martínez, 2021).

El Potencial de presión (Ψ_p) es debido a la presión ejercida por una columna de agua que se encuentra por encima del punto del suelo considerado. En zonas no saturadas el valor es cero y en zonas por debajo del nivel freático (zonas saturadas) el valor es positivo, puesto que en estas zonas la presión hidrostática es mayor que la atmosférica (Pachés, sin fecha).

4.4.1.4 Potencial osmótico. El fenómeno de difusión de agua a través de una membrana semipermeable, se denomina ósmosis. El flujo ocurre a expensas de una presión diferencial (presión osmótica) entre dos soluciones acuosas de distinta concentración de solutos, separadas por dicha membrana. El potencial osmótico puede medirse con un osmómetro, que es un instrumento que consta de un recipiente dentro de otro, teniendo el interno paredes semipermeables (permeables al solvente de la solución acuosa, no a los solutos), conectado a un manómetro diferencial de mercurio (Géniova et al., sin fecha).

El potencial osmótico es el resultante de la concentración de sales en la solución del suelo (Barría y Martínez, 2021).

4.5 Curva característica de humedad del suelo

La curva característica de retención de humedad del suelo es muy útil en la determinación del índice de proporción de humedad disponible, en la estimación de valores de humedad característicos de la relación agua – suelo - planta, como la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Stakman, 1980, como citó Izquierdo *et al.*, 2011).

Según Valarezo *et al.*, (1998), entre las principales aplicaciones se tiene:

- ✓ Conocer el volumen total de poros y la distribución de estos por rangos de tamaño.
- ✓ Permitir determinar la capacidad de aireación del suelo para las raíces y el espacio poroso drenable.
- ✓ Determinar el rango de agua aprovechable para las plantas y el volumen rápidamente aprovechable.
- ✓ Establecer el espacio poroso físicamente inerte.

4.5.1 Puntos más importantes de la curva de retención

La curva característica de humedad es muy útil para el diseño y manejo del riego; la forma de determinarse es a través de someter varias muestras de suelo a diferentes tensiones, generalmente a 0,001; 0,1; 0,3; y 15 atmósferas (Cadena, 2016).

La morfología de una curva de retención está condicionada por la textura, estructura y materia orgánica (Fontanet, 2013).

Los parámetros más importantes de humedad del suelo son:

4.5.1.1 Saturación. El punto de intersección de la curva con el eje x corresponde a un valor de tensión de 1 cm ($pF = 0$), que equivale al contenido de agua del suelo en condición de saturación, lo que significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total (Valarezo *et al.*, 1998).

Saturación es el contenido de humedad en el que todos los poros del suelo se llenan de agua, por lo que los poros no poseen aire y por ende la mayoría de cultivos no pueden sobrevivir más de entre dos y cinco días por asfixia, siendo el arroz la principal excepción. Para sacar el exceso de agua, que por lo general se da en estaciones lluviosas, se debe realizar mediante el drenaje (Alocén, 2007).

4.5.1.2 Capacidad de campo (CC). Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72. En un suelo saturado todos los poros están ocupados por agua. En un suelo a CC los macroporos perdieron el agua y están llenos de aire, y los microporos están llenos de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos a una tensión de $pF = 2,0$ o $2,4$ (García *et al.*, sin fecha.).

4.5.1.3 Punto de marchitez permanente. Es la tensión máxima ($pF = 4,2$) que puede realizar un cultivo para extraer el agua del suelo (Ecured, 2021).

Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya poco a poco, es

decir cuanto más se seca el suelo, más firmemente es retenida el agua por el suelo, y más difícil resulta para las plantas extraerla. Llegará un momento en que la extracción del agua por parte de las plantas no es suficiente para cubrir sus necesidades y empiezan a marchitarse y finalmente mueren (Alocén, 2007).

4.5.1.4 Coeficiente higroscópico. Corresponde al contenido de humedad del suelo cuando ha alcanzado el equilibrio bajo ciertas condiciones: 98 % de humedad relativa, una atmósfera de presión, y a la temperatura ambiente. Se encuentra retenida con una fuerza de succión de 3 100 Kpa o ($pF = 4,40$) (Valarezo et al., 1998).

La humedad higroscópica se expresa como la máxima cantidad de agua que pueden absorber las partículas del suelo por medio de las fuerzas de adsorción, al ponerse en contacto con una atmósfera saturada de vapor de agua (humedad relativa del 100%), a una temperatura determinada (Hillel, 1998, como citó Díaz, 2005).

4.5.1.5 Agua aprovechable. La cantidad total de agua disponible para absorción de la planta es el “agua disponible para la planta” que es la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente y se expresa como un porcentaje en volumen (volumen de agua/ volumen de muestra de suelo) (Zotarelli et al., 2019).

4.5.1.6 Capacidad de aireación. Se define como el volumen de poros ocupado por aire cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Al menos en 10 % del volumen de poros debe estar ocupado por aire para que las plantas no sufran de “anoxia” o falta de aire (Ospina et al., 2016).

4.5.1.7 Volumen de poros físicamente inerte. Corresponde al valor del contenido volumétrico de agua en el punto de marchitez permanente. Comprende aquellos poros menores a 0,2 micras, que no proveen de aire ni de agua para las raíces (Morocho y Chillogallo, 2010).

4.6 Movimiento de agua en el suelo

Define el comportamiento del agua en el suelo depende, de propiedades particulares y de las fuerzas que actúan sobre ellas. Estas a su vez dependen, de la geometría de los poros y de la interacción entre el agua y las superficies solidas con las que está en contacto (Jácome *et al.*, 2009, como citó Saborio, 2018).

4.6.1 Infiltración

Según Alocén (2007), la infiltración es el proceso por el cual el agua ingresa al suelo, y la tasa o velocidad de infiltración es la tasa a la que se infiltra el agua. La tasa de infiltración es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación y evaluación

de los sistemas de riego, por lo que es absolutamente necesario obtener información confiable sobre esta propiedad.

4.6.1.1 Factores que afectan la infiltración. Para que exista infiltración en el suelo hay que considerar muchos factores como los que se presentan a continuación:

- ✓ **Sedimentos en el agua de riego:** Las partículas de limo y arcilla que se mantienen en suspensión afectan la calidad de agua de riego y producen un encostramiento en el suelo, que disminuye en forma notoria la infiltración del agua en el suelo. Esto puede ser beneficioso en suelos arenosos, pero es muy perjudicial en los de texturas finas (Gurovich, 1985).
- ✓ **Cantidad de agua en el suelo:** Cisneros (2003), menciona que mientras un suelo este mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco, debido a que se forma una zona saturada que dificulta inicialmente la salida del aire y por lo tanto la entrada de agua.
- ✓ **Preparación del suelo:** Se indicó que la velocidad de infiltración puede ser aumentada a través de araduras, rastrajes u otros procedimientos; sin embargo, el efecto beneficioso en la porosidad del suelo producido por el paso de estos implementos dura solamente hasta que el terreno vuelve a su condición anterior de densidad, como consecuencia de riegos o lluvias subsecuentes. Es necesario considerar también la compactación producida por el excesivo paso de implementos, con la consiguiente disminución de la velocidad de infiltración (Gurovich, 1985).
- ✓ **Cantidad de materia orgánica:** Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo (Cisneros, 2003). Gavande *et al.*, (1972, como citó Delgadillo y Pérez, sin fecha) afirman que varios factores como la temperatura de agua y el suelo, la estructura y la compactación, textura, estratificación, contenido de humedad, agregación y actividades microbianas, afectan la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Dentro de los métodos de campo para determinar la infiltración son: método del infiltrometro de doble anillo y el método de entradas y salidas (en surcos).

4.7 Riego por goteo

El riego por goteo consiste en aplicar el agua directamente al suelo, gota a gota, utilizando unos aparatos llamados goteros, los cuales necesitan de presión para su funcionamiento, aunque esta presión es mucho más baja que la que se necesita en riego por aspersión (Mendoza, 2013).

4.7.1 Ventajas del sistema de riego por goteo

El uso del riego por goteo localizado tiene varios beneficios, como se describe en la lista a continuación.

- ✓ Automatización del sistema: Se requiere de poca mano de obra, tanto en su maniobra como en las actividades de fertilización y deshierbe debido a que este método de riego evita regar en áreas no objetivo, evitando la emergencia y crecimiento de malezas.
- ✓ Adaptabilidad: Puede instalarse en diversas condiciones topográficas y es muy versátil al uso de aguas de diferente calidad y limitaciones salinas del suelo.
- ✓ Alta eficiencia: La alta frecuencia de los riegos, pero de bajo caudal, permite mantener un óptimo de humedad en la zona radicular de los cultivos, logrando así un desarrollo uniforme de raíces (Intagri, 2015).

4.7.2 Desventajas del sistema de riego por goteo

Las principales desventajas son las siguientes:

- ✓ Alto costo de instalación
- ✓ Dificultad de dar lavados en profundidad
- ✓ Posibilidad de salinización del suelo
- ✓ Necesidad de mayor preparación técnica del agricultor
- ✓ Necesidad de fertilizantes totalmente solubles en agua
- ✓ Necesidad de alto grado de filtración (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2016)

4.7.3 Componentes de un sistema de riego por goteo

Están divididos en:

4.7.3.1 Cabezal de riego. Fernández (2010), señala que el cabezal de riego presenta un conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a la red de distribución.

4.7.3.2 Red de distribución. El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2016), señala que es la encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas, y está compuesta por:

- ✓ Primaria o principal. - Transporta el agua desde el cabezal de riego (bomba, filtros e inyector de fertilizante) a la línea de distribución. Normalmente de PVC y de diámetro nominal mayor a la secundaria.

- ✓ En la intersección de la principal con la secundaria se instalan válvulas eléctricas o manuales que permiten la entrada de agua hacia la secundaria y por consiguiente, a los laterales.
- ✓ Secundaria. - Encargada de conducir el agua de la tubería principal a los laterales, actuando como cabecera de la línea porta emisor o lateral. Generalmente de PVC.
- ✓ Lateral. - Es la línea que contienen los emisores. Generalmente de PE y de diámetro nominal de 12, 16 y 20 mm.

4.7.3.3 **Emisores.** Los emisores o goteros son uno de los elementos fundamentales en un sistema de riego presurizado. La cantidad de agua aportada y la uniformidad del riego dependen directamente de ellos (Abellán, 2020).

Liotta *et al.*, (2015), menciona que los emisores se clasifican de la siguiente forma:

- ✓ Laberinto. - Son de largo conducto que obliga al agua a un recorrido en forma tortuosa y perder presión. Son de régimen turbulento, poco sensibles a la temperatura y a las obstrucciones.
- ✓ Tipo Vortex (de botón). - El agua después de atravesar un orificio, ingresa a una pequeña cámara tangencial originando un movimiento en espiral que ocasiona una pérdida de carga y luego sale al exterior en forma de gota.

Cintas. - Las cintas de riego y los goteros laberinticos vienen de fábrica con los emisores ya incorporados, en una gran variedad de caudales y espaciamientos denominados interlínea o “in line”. En cambio, los de botón o sobre línea “on line”, tienen la opción de poderlos insertar manualmente en el lateral de riego.

Si los emisores tienen mecanismo de regulación de presión se clasifican en:

Auto-compensados.- Los goteros autocompensados igualan las distintas presiones del sistema para así conseguir que todos los goteros tengan el mismo caudal, sin importar su localización y su distancia con el punto de recepción de agua, es decir los goteros autocompensados situados en la parte más baja de la instalación, emitirán la misma cantidad de agua que los situados en la parte alta, consiguiendo que todas las plantas reciban el mismo volumen de agua (Planeta Huerto, 2021).

No – compensados. - No tiene mecanismo de regulación de caudal y varía en función de la presión. Pueden funcionar con menor presión que los auto-compensados y son más económicos. Sin embargo, para no perder uniformidad de caudal ($\pm 10\%$), la longitud de los laterales debe ser menor (Liotta *et al.*, 2015).

4.7.3.3.1 Principales características de un gotero. Según Infoagro (sin fecha), las principales características que definen un emisor son:

- ✓ **Caudal nominal.** - Es el caudal que suministra el gotero a la presión nominal. Suele estar comprendido entre 2 y 4 l/h en hortalizas, aunque puede llegar hasta valores de 16 l/h en otros cultivos.
- ✓ **Presión nominal (Pn).**- Es la presión para la que se ha diseñado el emisor y por lo general suele ser de 10 m.c.a. En goteros autocompensantes la presión nominal se sustituye por el rango de presiones de funcionamiento.
- ✓ **Régimen hidráulico.** - El más conveniente es el turbulento, ya que el laminar hace a los emisores más sensibles a las variaciones de presión y de viscosidad y temperatura del agua.

4.7.3.3.2 Coeficiente de variación de fabricación (CV). Los fabricantes, debido a las tolerancias en la fabricación de los goteros, proporcionan el llamado coeficiente de variación (CV), que tiene en cuenta el % de desviación estadística del caudal real respecto al caudal emitido por el gotero en los ensayos estándar. Es decir, la posible variación entre el caudal real que al final descarga el gotero respecto al nominal que aparece en sus características técnicas (Ingemecánica, sin fecha).

- ✓ **Categoría A.** Coeficiente de variación inferior a 0,05 (CV < 5%)
- ✓ **Categoría B.** Coeficiente de variación comprendido entre 0,05 y 0,1 (5 % < CV < 10 %)

4.7.3.3.3 Relación caudal – presión. El caudal que descarga un emisor está relacionado con la presión hidráulica existente a su entrada, y se responde a la siguiente ecuación:

$$q = K * h^x$$

Donde:

q: caudal del emisor (l/h)

K: coeficiente de descarga (adimensional)

h: presión a la entrada del emisor (m.c.a)

x: exponente de descarga (adimensional)

La gráfica sobre la relación presión vs caudal de cada emisor se presenta en la Figura 1. Monge (2018) señala que los emisores auto compensados tienen un componente que regula su presión de trabajo y la mantiene constante, aunque existan variaciones en el sistema, por lo que su exponente de descarga es cero y no afecta a su ecuación característica. Por otro lado, cuando el exponente *x* es cercano a 0,5 las partículas se mueven en desorden y generalmente

esto se presenta cuando un fluido sale por un emisor a gran velocidad. Un exponente entre 0,5 y 0,7 refleja que el fluido tiende a ser turbulento, pero no en gran intensidad y su velocidad es menor al flujo turbulento. El flujo laminar es el que generalmente se presenta en emisores de baja presión y se caracteriza por que la velocidad del fluido es baja y sus moléculas se mueven de manera ordenada en un mismo sentido, en donde el exponente x se acerca a 1.

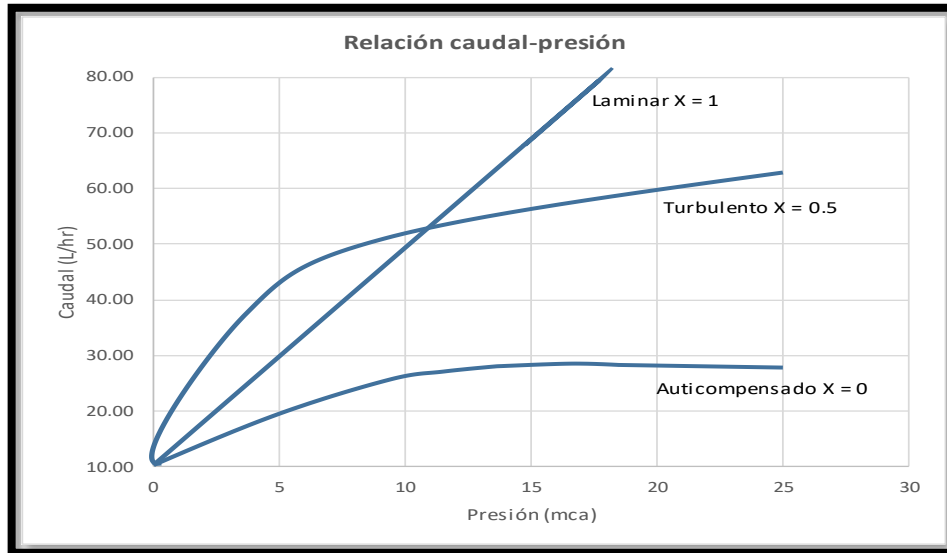


Figura 1. Relación caudal - presión de emisores según régimen.
Fuente: Pizarro, 1996.

4.7.4 Diseño de riego por goteo

El diseño de un sistema de riego por goteo comprende el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

4.7.4.1 **Diseño agronómico.** El diseño agronómico consiste en calcular la cantidad de agua que necesita el cultivo para su desarrollo normal sin sufrir déficit hídrico, así como el agua necesaria para el manejo eficiente de las sales (INTAGRI, 2019).

4.7.4.1.1 Necesidades hídricas de los cultivos. El cultivo de café es una planta que posee una cierta tolerancia a la sequía, sin embargo, el café necesita de riego en época de sequía, debido a que cuando el suministro de agua es deficiente la cosecha se puede ver reducida, debido a que la carencia de agua produce una pérdida del crecimiento vegetativo y el hecho de que el café usualmente produce flores y frutos solo en la madera formada por el crecimiento de ramas laterales durante el año anterior, la disminución de la cosecha por una deficiencia de agua, muy rara vez se observa en el mismo año en que ha ocurrido esa carencia, sino más bien se presenta en la cosecha siguiente (ANACAFE, 2011).

Establecidas las plantas de café en el terreno, las necesidades de humedad son elevadas, sobre todo en sus etapas críticas. El periodo más crítico es en el que tiene lugar en la primera floración; siguiéndose las fases de cuajado, crecimiento y maduración de los frutos. Los sistemas a emplear será el que mejor se adapte a las necesidades, condición económica y nivel de manejo técnico del agricultor. El riego por goteo se ha convertido en el sistema por excelencia debido al ahorro de agua y energía, además de lograr potenciar la producción de una manera significativa (Silva, sin fecha).

Evapotranspiración de cultivo (ETc). Es la cantidad de agua consumida por un determinado cultivo (Cisneros *et al.*, 2015). Se calcula a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia y el coeficiente del cultivo, aplicando la fórmula siguiente (FAO, 2006).

$$ETc = ETo * kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

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

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

a) Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo)

Es la cantidad de evapotranspiración del cultivo que generalmente se toma de pasto o alfalfa en condiciones estándar, que son óptimas para su desarrollo sin restricción hídrica. Las variaciones climáticas son los únicos factores que determinan la evapotranspiración de referencia. Esto se calcula a partir de datos meteorológicos expresados en mm/día (FAO, 2006).

Cadena (2016), señala los métodos para determinar la evapotranspiración de cultivo de referencia se dividen en:

- 1 Directos: miden directamente los consumos por evaporación y requiere para su determinación la instalación de aparatos, el cuidado de ellos y seguir la metodología específica en cada paso. Los métodos más utilizados son los lisímetros: volumétrico y gravimétrico, tanque evaporímetro, método de la parcela con tensiómetros y los atmómetros de Livingston.
- 2 Indirectos: se los determina mediante modelos matemáticos los cuales son desarrollados en función de datos meteorológicos entre los que se pueden mencionar los siguientes: Thornthwaite, Turc, Hansen, Penman - Monteith, Blaney y Criddle, Hargreaves, entre otros.

b) Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo k_c describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha (Calvache, 2012).

El coeficiente del cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

El K_c se estima para cada cultivo de acuerdo con la metodología propuesta por FAO, estableciendo 4 etapas básicas y haciendo la extrapolación de los valores intermedios.

- ✓ **Etapas inicial.** - Es un periodo después de siembra o trasplante, en que las plantas crecen lentamente, cubriendo hasta un 10% de la superficie (FAO, 2006).
- ✓ **Desarrollo.** - La etapa de desarrollo del cultivo comprende desde el 10 % de cobertura hasta que alcanza la cobertura efectiva completa (Allen *et al.*, 1998, como citó Odi *et al.*, 2013).
- ✓ **Etapas media.** - Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70 - 80 % de cobertura máxima de cada cultivo (Calvache, 2012).
- ✓ **Etapas final.** - En la etapa final de desarrollo en la cual comprende entre el inicio de la madurez hasta la época de cosecha o en la completa senescencia del cultivo. Se dice que los valores de K_c y ET_c finalizan en el tiempo que el cultivo es cosechado, secado al natural o marchitado el cultivo, con lo cual alcanza su fenología completa o se aprecia la caída de las hojas del cultivo. El valor de K_c al terminar la etapa final (k_c final) evidencia el efecto de las buenas prácticas de cultivo y el uso de manejo del agua (Allen *et al.*, 2006).

El K_c se utiliza para una planificación adecuada del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico; los valores de K_c son diferentes de acuerdo a los ciclos fenológicos de cada cultivo (Delgado, 2012).

4.7.4.1.2 Precipitación efectiva. Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la escorrentía superficial y de la percolación profunda (Jiménez, 2016).

4.7.4.1.3 Requerimiento de riego. Cisneros (2003), menciona que es la cantidad de agua que habrá que aplicarse a un cultivo, considerando la evapotranspiración, la cantidad adicional de agua para el lavado de las sales y la precipitación efectiva del lugar.

Se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$RR = ET_c + RI - Pe$$

Donde:

RR = Requerimiento de riego (mm)

ET_c = Necesidad de agua del cultivo (mm)

RI = Requerimiento de lavado (mm)

Pe = Precipitación efectiva (mm)

Si no existen sales, entonces:

$$RR = ET_c - Pe$$

4.7.4.1.4 Parámetros de riego. Área mojada por un gotero (Ame): Gil (2001), señala que el diseño de un sistema de riego por goteo comienza con la determinación del caudal y número de emisores necesarios para mojar un determinado volumen de suelo. Este dato se obtiene a partir de una buena estimación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo formado por un emisor, la cual depende de la textura, del volumen y caudal de agua aplicado por el emisor.

Porcentaje de suelo mojado: Al no mojar toda la superficie, es necesario determinar un mínimo de superficie a mojarse para que las raíces del cultivo se desarrollen normalmente; pudiendo recomendarse los siguientes valores en porcentaje: en cultivos de marco amplio: $25 < A < 35$, en cultivos de marco medio: $40 < A < 60$, en cultivos hortícolas: $70 < A < 90$. Se debe considerar que mientras mayor sea el porcentaje de superficie mojada, aunque se asegure

el consumo de agua por parte de la planta, la instalación se encarecerá por el requerimiento de un mayor número de goteros (Cadena, 2016).

Lámina de agua aprovechable (LAA): Es la lámina de agua que un suelo se encuentra entre los límites de capacidad del campo y el punto de marchitez permanente a la profundidad radical efectiva del cultivo estudiado (Burbano *et al*, sin fecha).

Lámina bruta o lámina total de riego (Lr): Se denomina lámina bruta a la cantidad de agua que se tiene que aplicar en cada riego a la superficie del terreno, con el fin de asegurar una penetración suficiente de agua y que permita retener en la zona radicular el valor de la lámina neta. Con el objetivo de asegurar la cantidad de agua que será consumida por la planta y que debe ser reemplazada en cada riego; es necesario aplicar una mayor cantidad de agua en el riego al terreno, con el fin de contrarrestar las pérdidas (percolación, escurrimiento superficial). Esta cantidad de agua se obtiene al multiplicar la lámina neta por la eficiencia de aplicación que se encuentra definido por cada método de riego (Cadena, 2016).

Frecuencia de riego: Delgado (2012), señala que la frecuencia de riego es el número de días que existe entre dos riegos sucesivos, es decir, el número de días que el cultivo a través de la evapotranspiración, demora en consumir el agua del suelo.

La frecuencia de riego es la variable menos rígida y por lo tanto la que más se puede modificar. Dependiendo de la textura se sugiere como valores máximos de frecuencias a una textura ligera, media y pesada de 3, 4 y 5 días; respectivamente (Pizarro, 1996).

Frecuencia de riego ajustado: Se presenta cuando la frecuencia de riego es muy amplia entre el número de días que transcurre para el próximo riego, esta necesita mayor cantidad de agua en aplicar a la superficie de riego calculada, y más aún cuando no se dispone de suficiente caudal para abastecer al caudal de diseño del sistema, que viene dado por el factor de operación del manejo de riego, lo que con lleva a la necesidad de optar por una obra de almacenamiento; por lo tanto es necesario en reajustar dicha frecuencia a un intervalo de días menor para un óptimo manejo práctico del agua de riego (Gallego, 2016).

Tiempo de riego: Tiempo necesario para que la superficie total del agua se infiltre en el suelo. También es el tiempo en horas que debe operar la instalación para aplicar las necesidades brutas de riego (Cadena, 2016).

Chow (2006), señala que es el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego total con el propósito de restituir el agua consumida por el cultivo.

4.7.4.2 Diseño hidráulico. El diseño hidráulico tiene como propósito definir los diámetros y longitudes de las tuberías que componen el sistema (regantes, distribuidoras y conducción). Este diseño debe considerar dos criterios básicos: primero que las secciones operen con una uniformidad de emisión mayor al 90 %, y segundo que la velocidad en las tuberías de la red parcelaria no sea mayor de 2,0 m/s (Jiménez, 2017).

4.7.4.2.1 Pérdidas de carga en tuberías. La pérdida de carga en una tubería es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del agua entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas de carga hidráulica se determinan mediante las ecuaciones de Darcy – Weisbach, Hazen Williams y Manning, estas pérdidas pueden ser continuas o localizadas (Molecor, 2021).

✓ ***Pérdidas de carga continuas (hf)***

Las pérdidas lineales también llamadas primarias o continuas, corresponden a las pérdidas de energía por unidad de peso que se producen en los tramos donde el movimiento es permanente y uniforme (De las Heras, 2011).

Las pérdidas de carga continuas se determinan multiplicando la pérdida de carga por unidad de longitud y por la longitud del tramo.

Ecuación de Hazen William

En el diseño de sistemas de riego presurizado, es común encontrar la fórmula de Hazen-Williams como la más utilizada debido a la simplicidad del coeficiente de fricción (C) y a los buenos resultados en tuberías de PVC trabajando en flujo turbulento. Los valores del coeficiente de fricción (C_{HW}) dependen del material con que este fabricada una tubería y del tiempo que lleva prestando servicio (Comisión Nacional del Agua, 2002).

Además, se recomienda utilizarla para valores de velocidades de circulación inferiores a 2,5 m/s y es válido solamente para el agua que fluye en temperaturas ordinarias (5 °C – 25 °C) (Breña y Valdés, 2019).

✓ ***Pérdidas locales o pérdidas singulares (hs)***

Estas pérdidas se producen en transiciones del conducto, estrechamientos o expansión y en toda clase de accesorios, válvulas, reguladores de tiro, codos (PIROBLOC, 2019).

En la práctica, es común considerar a las pérdidas de carga localizadas como un porcentaje de la suma total de las pérdidas de carga por fricción. Este porcentaje varía en proporción al número de obstrucciones o cambios de dirección significativos en la ruta de conducción, y se considera de un 5 a un 10 % dependiendo del tipo de sistema y de las

velocidades de diseño. Si el promedio de la velocidad es cercano a 2 m/s se considera el 10 % y si es menor de 1 m/s se considera un 5 % (Comisión Nacional del Agua, 2002).

4.7.4.2.2 Diseño de la tubería lateral. El cálculo del diámetro de un ramal lateral se basa en la uniformidad conseguida en la descarga del agua por los goteros del ramal (Fuentes 1998, como citó Robles, 2021).

Según Boswell (1990) la hidráulica de las tuberías laterales es similar en la mayor parte de los aspectos a la de sub principal, excepto en que el material de conducción es generalmente polietileno en lugar de PVC, los diámetros son más pequeños y hay habitualmente numerosas pérdidas menores. Las pérdidas de carga debidas a conexiones en los emisores pueden contabilizarse sobre la base de una longitud equivalente de tubería, esto es la pérdida de carga en la conexión equivalente a la pérdida de carga en una longitud dada de la tubería lateral.

Para el diseño del lateral de riego se requiere algunos datos previos, según (Savaldi 1995, como citó Robles, 2021), son los siguientes:

- ✓ Distancia entre emisores (m)
- ✓ Número requerido de emisores (u)
- ✓ Pendiente del terreno en el sentido del lateral (%)
- ✓ La distancia hasta el primer emisor (m)
- ✓ Longitud neta requerido del lateral (m)
- ✓ La presión nominal de trabajo del emisor (mca)
- ✓ Pérdida máxima total de carga en el lateral (mca)
- ✓ Descarga nominal del emisor (l/h)

4.7.4.2.3 *Diseño de la tubería terciaria.* Demin (2014) señala que la conexión de cada lateral con la tubería terciaria se hace mediante la utilización de conectores o iniciales que quedan insertados entre ambas tuberías también se puede utilizar uniones, tees y reducciones para cada salida del lateral. Por otro lado, (Maldonado 2014, como citó Picoita 2021) menciona que la tubería terciaria es aquella que alimenta a las conducciones que llevan el agua directamente a las plantas, generalmente son de material de polietileno.

4.7.4.2.4 *Diseño de la tubería secundaria.* Tomando en cuenta que las tuberías secundarias son aquellas que conducen el agua que circula por la primaria a cada unidad de riego Ahmad y Ajas (2013) manifiestan que dependerá de las dimensiones del terreno y del número de terciarias que funcionen al mismo momento.

La variación de la presión en la tubería secundaria no debe superar el 20 % de la presión de operación del gotero y la velocidad del agua deberá estar comprendida en el rango establecido, el mismo que explica posteriormente (Ortiz 2020, como citó Robles, 2021).

4.7.4.2.5 *Diseño de la tubería principal.* Según Valarezo (2013), el diseño de la tubería principal considera no tener pérdidas superiores al 15 % de la presión de operación del emisor en la tubería principal. Teniendo en cuenta que en esta tubería se anula el coeficiente de Christiansen (F) de salidas múltiples, generalmente en esta tubería circulan los caudales más grandes, llega desde la fuente de agua, pasa por el cabezal de control y termina en el inicio de las tuberías secundaria.

5. Metodología

5.1 Ubicación del área de estudio

La parroquia Malacatos se encuentra ubicada en el sector sur oriental del cantón y provincia de Loja; a 31 kilómetros de la ciudad de Loja. Limita al Norte con la parroquia urbana San Sebastián, al Sur con la parroquia rural de Purunuma del cantón Gonzanama, al Este con la parroquia rural de Vilcabamba y al Oeste con el cantón Catamayo.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la finca Agroloja del barrio Santa Ana, perteneciente a la parroquia Malacatos (Fig.2), se encuentra en las coordenadas planas Longitud X: 693 546 m, Latitud Y: 9 533788 m, Altura Z: 1470 m.

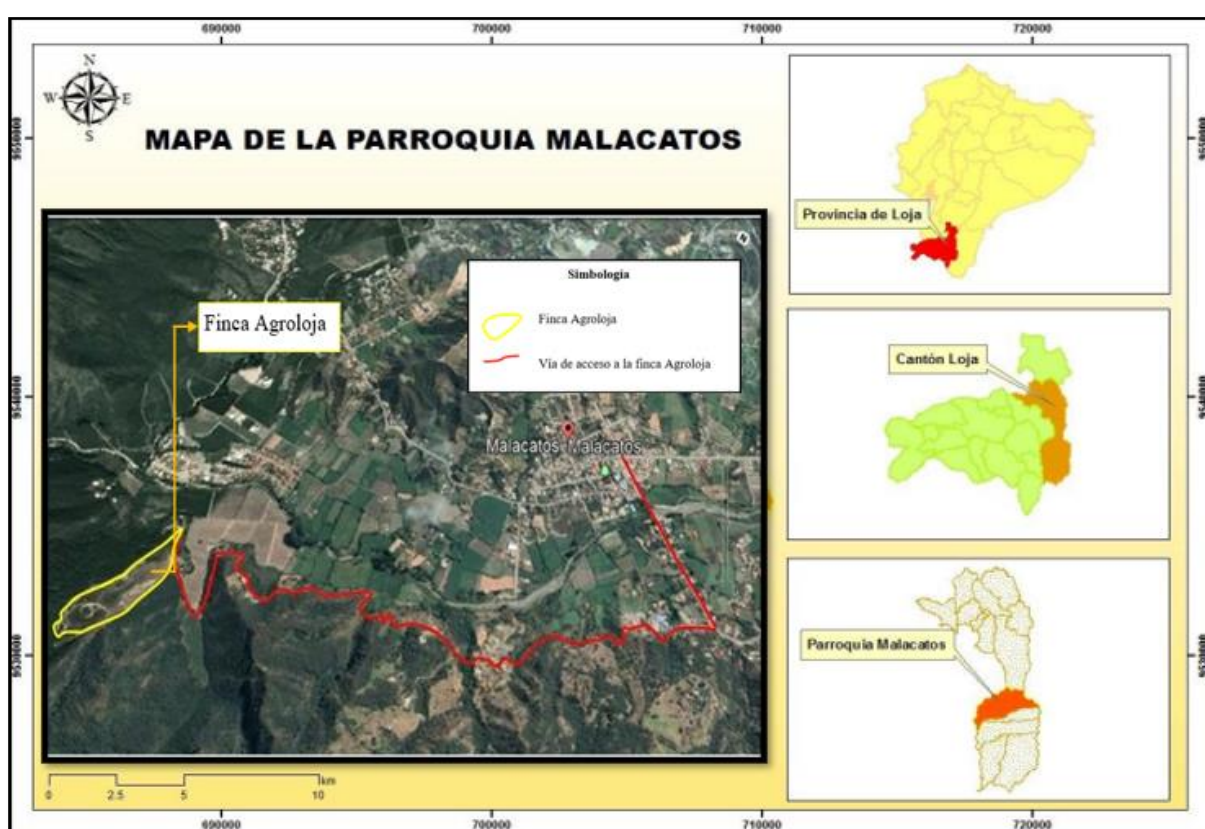


Figura 2. Zona de estudio

5.1.1 Condiciones edafoclimáticas de Malacatos

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Malacatos (2015), señala las diferentes características edafoclimáticas que presenta esta parroquia, tales como:

En geología la parroquia Malacatos cuenta con tres unidades ambientales: Vertientes y Relieves Superiores de las Cuencas Interandinas, Macizos Internos de la Sierra Sur; Relieves de los Fondos de las Cuencas y Valles Deprimidos; Medio Aluvial. La información

geológicamente está representada por rocas metamórficas y volcánicas que se encuentran instruidas por cuerpos graníticos, y sedimentarios terciarios en la cuenca de Loja, Malacatos y Vilcabamba respectivamente.

Malacatos posee un clima ecuatorial mesotérmico seco. La precipitación media anual es de 669 mm. El periodo invernal comprende de octubre a abril con 591 mm (88,3 %); mientras que la época seca oscila de mayo a septiembre con 77,9 mm (11,7 %).

La temperatura media anual es de 19,9 °C. La evapotranspiración de referencia media anual es de 2,44 mm/día. La máxima le corresponde a diciembre con 2,6 mm/día; mientras que la mínima es para abril con 2,4 mm/día.

Las mayores pendientes del terreno en la parroquia Malacatos corresponden a los rangos de 40,0 – 70,0 % (Fuerte) y > 70,0 % (Muy Fuerte) con 6 122 (29,66 %) y 5 511 ha (26,70 %) en su orden; en tanto que los menores rangos, están comprendidos de 2,0 – 5,0 % (Muy Suave), 5,0 – 12,0 % (Suave); y, 12,0 – 25,0 % (Medio) con superficies de 302,8 ha (1,47 %), 3 301 ha (15,9 %); y, 792 ha (3,84 %) respectivamente.

La mayor clasificación taxonómica de los suelos de Malacatos son Entisoles, con una superficie de 9 485,8 ha (44,8 %); en donde predomina el subgrupo Typic Udorthents, los mismos que tiene una textura franco arcillo – arenosa; buen drenaje; suelos superficiales y de poca pedregosidad, con un pH ligeramente ácido y una fertilidad media; mientras que los vertisoles cuentan con una menor superficie de 239 5 ha (1,13 %); su textura es franco arcillo-limoso en superficie y arcillosos pesados en profundidad; su drenaje es moderado; y, tienen un pH neutro y una alta fertilidad.

5.2 Materiales y equipos

Materiales de campo: cámara fotográfica, GPS diferencial, libreta de campo, flexómetro, manómetro de mercurio, anillos infiltro metros, combo, depósitos de agua de 20 litros, barreno.

Materiales de laboratorio: Cilindros koppecky de 100 cm³

Materiales de oficina: computadora, calculadora, impresora, AutoCAD Civil 3D 2019, hojas de cálculo, CROPWAT 8.0, lápices, marcador, libreta, catálogos de goteros, anuarios meteorológicos del INAHMI, material bibliográfico.

5.3 Métodos

5.3.1 Información primaria

5.3.1.1 **Superficie de riego:** Se realizó un levantamiento topográfico del área a ser irrigada usando el GPS diferencial y así determinar el área y la topografía, considerando la dirección del cultivo de café debido a que ya se encuentra sembrado.

La información adquirida se procesó en un software, donde se obtuvo la topografía con curvas de nivel permitiendo determinar los desniveles del terreno.

5.3.1.2 **Volumen del reservorio.** Para determinar el volumen del reservorio se aplicó la fórmula de volumen para una pirámide truncada propuesta por Martínez (2013), la cual requiere los siguientes 3 datos: área menor, área mayor y altura (Anexo 3). Estos valores fueron obtenidos mediante el programa AutoCAD Civil 2018.

$$V = \frac{h}{3} * (\text{área menor} + \text{área mayor} + \sqrt{\text{área mayor} * \text{área menor}})$$

Donde:

V = Volumen del reservorio (m^3)

h = Altura entre las dos bases (m)

5.3.2 Metodología para el primer objetivo

“Caracterizar la situación productiva actual del café en la finca Agroloja de la parroquia Malacatos”

El estudio requirió de información primaria y secundaria. La primera se obtuvo de la investigación directa realizada a los productores del barrio Santana, en la parroquia Malacatos. La información secundaria comprendió: publicaciones, libros, tesis de grado, resultados de investigaciones.

- ✓ Visita al dueño del terreno donde se ejecutó el Trabajo de Titulación.
- ✓ Como herramienta de investigación se emplearon encuestas de campo (Anexo 1) las mismas que fueron aplicadas a los habitantes del barrio Santa Ana.

Posteriormente se procesó la información de campo y así poder definir la situación productiva del café.

5.3.3 Metodología para el segundo objetivo

“Determinar las características edafoclimáticas de la zona de estudio”

Para el diseño de un sistema de riego se requirió conocer las características físicas e hidrofísicas del suelo, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

5.3.3.1 Propiedades físicas e hidrofísicas del suelo. En un sitio representativo del área de riego se realizó una calicata de 1m x 1m x 1,5 m. Del primer horizonte (0 - 20 cm), con la ayuda de los cilindros Koopecky de 100 cm³, se tomaron una muestra inalterada, las mismas que se las envió al laboratorio de Suelos, Foliare y aguas de Agrocalidad - Tumbaco, a fin de determinar la densidad aparente y los contenidos de humedad a pF = 0; pF = 2,0; pF= 4,2.

Con los resultados de los contenidos de humedad de diferentes tensiones, se procedió a elaborar la curva característica de humedad del suelo, y a determinar de manera gráfica y analítica el agua aprovechable (AA), la capacidad de aireación (CA); y, el volumen de poros físicamente inerte (VPI). Con esta información se la evaluó físicamente el suelo para el crecimiento de los cultivos (Anexo 4).

Para la obtención de las muestras alteradas de suelo se efectuó un recorrido en zig - zag, el cual consistió en líneas cruzadas desde cada punto seleccionado de muestreo; se tomaron 30 muestras alteradas a una profundidad de 20 cm, a lo largo y ancho del terreno, se mezclaron en un balde hasta obtener una muestra homogénea, de la cual se identificó 1 kg a fin de conocer la textura del suelo.

5.3.3.2 Infiltración del agua en el suelo. La prueba de infiltración se realizó con un infiltrómetro, el mismo que está formado por dos cilindros concéntricos que se clavan en la superficie del suelo formando un recipiente hermético por los laterales, obligando al agua que se vierte en su interior a atravesar la capa de enraizamiento. El cilindro exterior se utilizó como área de contención para evitar el flujo lateral y dentro del interior se mide la velocidad de infiltración (Alcaraz R, 2016).

Se sometió a una carga de agua y se midió el volumen de agua que fue drenada por unidad de tiempo; este proceso se lo repitió 3 veces dentro de toda el área de riego por un lapso de 3 horas. La toma de lecturas de la lámina infiltrada de agua en cm, drenada en los cilindros, se hizo con intervalos de tiempo de cada 5 minutos la primera hora, 10 minutos la segunda y 15 minutos la tercera hasta que el descenso del nivel de agua se estabilizó y por lo menos 3 lecturas tengan un parecido o sean iguales.

Se utilizó la ecuación Kostiakov para calcular la infiltración acumulada, la misma que se describe a continuación:

$$I_{\text{acum}} = K T^n$$

Donde:

I acum = Infiltración acumulada (l)

T = Tiempo (t)

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

La velocidad de infiltración básica, se la determino en base a la ecuación siguiente, que se genera a partir de la infiltración acumulada:

$$V.I.B = K.n.T^{n-1}$$

El resultado de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, se lo contrasto con la intensidad de precipitación del sistema de riego, a saber, que, la misma debe de ser menor a la velocidad de infiltración básica.

La ecuación empleada para determinar la intensidad de precipitación del sistema de riego por goteo fue la siguiente:

$$IP = \frac{qa.n}{Se(c + C)}$$

De donde:

IP = Intensidad de precipitación del sistema de riego por goteo (mm/h)

qa = Caudal del gotero (l/h)

n = Número de laterales de riego en la cama (u)

Se = Distancia entre goteros (m)

c = ancho de camino (m)

C = ancho de cama (m)

5.3.3.3 Evapotranspiración de cultivo (ETc). Se determinó mediante la fórmula que recomienda la FAO (2006), para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

ETo = Evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/mes)

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

- ✓ **Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo):** La ETo fueron tomados del trabajo de Cañar (2016), quien a través de una regresión lineal simple entre los resultados de la ETo por el método de Penman-Monteith para La Argelia (software Cropwat 8.0) y Hargreaves de la estación Malacatos, determinó una ecuación de ajuste al método de Hargreaves para la zona de estudio.

- ✓ **Coefficiente del cultivo (kc):** Se graficó la curva de kc del cultivo de café, tomando como referencia las etapas fenológicas y los kc obtenidos por (FAO, 2006) (Anexo 7). Con la fecha de siembra y los meses que tarda en desarrollar el cultivo, ingresando en el eje “x” el periodo de desarrollo del cultivo y el eje “y” el valor del kc propuesto por la FAO, en el manual N° 56, en base a este resultado se obtuvo un kc para el día 15 de cada mes.

El kc depende de las características del cultivo, el ritmo de desarrollo y ciclo de crecimiento del cultivo. Para el diseño agronómico se tomó el máximo valor del periodo vegetativo del cultivo de café.

5.3.3.4 Precipitación efectiva (Pe). La precipitación efectiva se la determinó mediante el software CROPWAT 8.0 (software de libre acceso), para lo cual se utilizó la precipitación media mensual de la estación de Malacatos (Anexo 6).

5.3.3.5 Necesidades de riego. Para determinar los requerimientos de riego del cultivo del café se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Necesidades de riego (NR)} = ETc - Pe$$

Donde:

NR = Necesidades de riego (mm/mes)

Pe = Precipitación efectiva (mm/mes)

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/mes)

a) Necesidades brutas (Nb)

Las necesidades brutas de riego se calcularon en base a la siguiente fórmula:

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

Donde:

Nb = Necesidades brutas de riego (mm/mes)

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/mes)

Ea = Eficiencia de aplicación del agua (90%) (Minagri, 2015).

5.3.4 Metodología para el tercer objetivo

“Realizar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo para la producción de café”

5.3.4.1 Diseño agronómico. Una vez que se tuvo la información base del cultivo del café, se procedió a calcular los parámetros que permitió planificar el uso del agua en el cultivo en la época de máxima necesidad.

Mediante la metodología propuesta por Pizarro (1996, como se citó en Alfaro y Nomberto, 2015) se procedió a determinar lo siguiente:

5.3.4.1.1 Necesidades de riego. Para su determinación, es necesario realizar una serie de correcciones, las mismas que se presentan a continuación:

- ✓ **Coeficiente de localización (KI).** - Consiste básicamente en la corrección de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Ap}{At}$$

Donde:

A = Fracción de área sombreada por el cultivo

Ap = Fracción de la superficie del suelo sombreada por la cubierta vegetal a medio día en el solsticio de verano ($\pi * Sp^2/4$) (m²).

At = Superficie total [distancia entre plantas (m) x distancia entre filas (m)]

Además, se hizo uso de las ecuaciones siguientes:

Ecuación de ALJIBURY ET AL: $KI = 1,34 * A$

Ecuación de DECROIX: $KI = 0,1 + A$

Ecuación de HOARE ET AL $KI = A + 0,5 (1 - A)$

Ecuación de KELLER $KI = A + 0,15 (1 - A)$

Una vez determinados los diferentes valores de KI se despreció los valores extremos y se promedió los dos valores restantes.

- ✓ **Variación climática (kv).** - Se lo utiliza para corregir los valores de promedios mensuales o de los promedios de un periodo determinado utilizados para los cálculos de la ETo. Para riego localizado se emplea valores entre 1,15 y 1,2. Tomando en cuenta las condiciones climatológicas de la zona de estudio se adoptó el valor de Kv = 1,20.
- ✓ **Variación por advección (Ka).** - Se calculó con ayuda de la Figura 3 tomando en cuenta la naturaleza del cultivo y el área del terreno a ser regada. El cultivo de café se lo ubica en la curva de los caducifolios ya que es un arbusto y sus hojas se mantienen con vida a lo largo de todo el año, en estado silvestre puede llegar a medir 10 m sin embargo en plantaciones puede llegar hasta 3 m de altura.

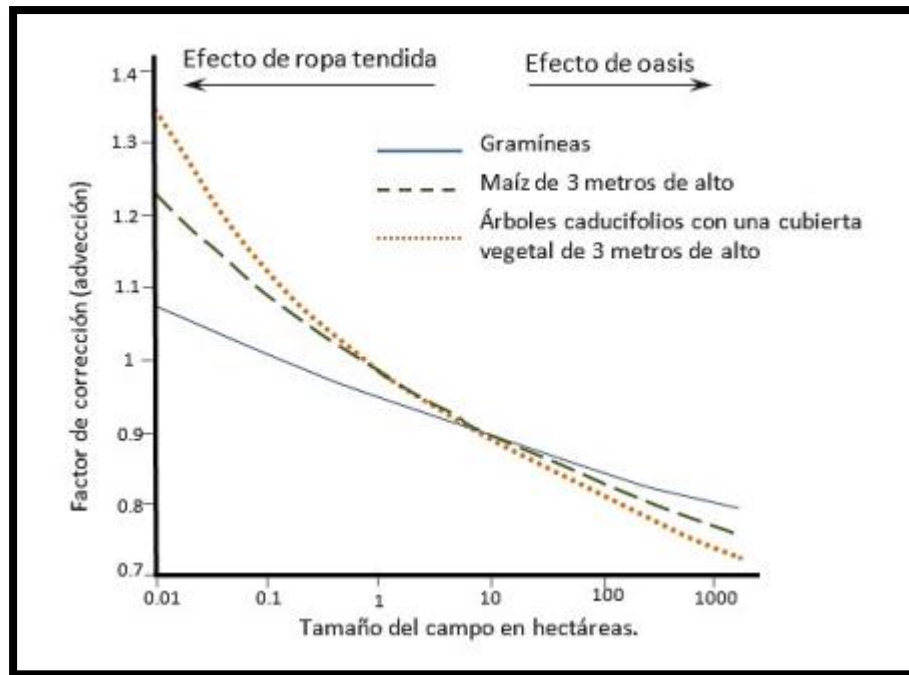


Figura 3. Coeficiente de advección de acuerdo con el área del terreno.

Fuente: Pizarro (1996) adaptada por Alfaro y Nomberto (2015).

Por lo tanto, la Evapotranspiración corregida (ET_{crl}) para el riego localizado se determina con la siguiente ecuación:

$$ET_{crl} = E_{tc} \times KI \times K_v \times K_a$$

- ✓ **Necesidades netas de riego (N_n).** - Conocida la evapotranspiración corregida (ET_{crl}), las necesidades netas de riego (N_n) se calcularon a partir del balance hídrico.

$$N_n = ET_{crl} - (P_e + G_w + \Delta w)$$

Donde:

ET_{crl} = Evapotranspiración corregida en (mm/día)

P_e = Precipitación efectiva, valor igual a 0 (mm)

G_w = Aporte capilar, valor igual a 0 (mm)

Δw = Variación de almacenamiento de agua, valor igual a 0 (mm)

- ✓ **Necesidades totales de riego (N_t).** - El cálculo se lo realizó a partir de las necesidades netas (N_n), para ello se consideró:

Eficiencia de aplicación del agua: Minagri (2015), señala que la eficiencia de aplicación para un sistema de riego por goteo es del (90 %).

$$K = 1 - \text{ef. Aplicación}$$

Necesidades totales: Se calculó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

Nt = Necesidades totales (mm/día)

Nn = Necesidades netas (mm/día)

k = coeficiencia de pérdidas por percolación

Cu = Coeficiente de uniformidad (valor de 0,9 teniendo en cuenta una excelente uniformidad al ser goteros auto compensados).

- ✓ **Necesidades diarias por árbol.** - Se las calculó de acuerdo con el marco de riego (mm/día).

$$N_{DIARIAS} = NT * a * b$$

Donde:

$N_{diarias}$ = Necesidades diarias por árbol (mm/día)

a = Separación entre laterales (m)

b = Separación entre plantas (m)

5.3.4.1.2 Parámetros de riego. Los parámetros de riego más relevantes son los siguientes:

- ✓ **Área mojada por emisor.** Para este parámetro, se utilizó la textura media y la ecuación de la Tabla 1 para determinar el diámetro húmedo.

Tabla 1.

Diámetro mojado del bulbo en función de la textura.

Textura de suelo	Diámetro
Textura fina (arenoso)	$D = 1,2 + 0,10 * q$
Textura media (Franco)	$D = 0,70 + 0,11 * q$
Textura gruesa (Arcilloso)	$D = 0,3 + 0,12 * q$

Fuente: Formulas propuestas por Karmeli Peri y Todes citado por (Gea, sin fecha).

Donde:

D = Diámetro de la superficie mojada (m)

q = Caudal del emisor (l/h)

La ecuación para el área mojada (m^2) es la siguiente:

$$Ame = \frac{\pi * Dm^2}{4}$$

Donde:

Dm = Diámetro húmedo del gotero (m)

- ✓ **Número de emisores por planta.** Se la determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Ne \geq \frac{Sp * P}{100 * Ame}$$

Donde:

Ne = Número de emisores por planta (u)

P = Porcentaje de suelo mojado propuesto por Keller en caso de árboles para clima árido 33%, debido a que el área de estudio se encuentra en un clima cálido seco.

Sp = Disposición entre plantas (m²)

Ame = Área mojada por emisor (m²)

- ✓ **Separación de emisores.** Considerando un porcentaje de solape como mínimo 15 y máximo 30 %, se empleó la siguiente ecuación:

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

Donde:

Se = Separación entre emisores (m)

Rm = Radio húmedo (m)

S = Solape recomendado (%)

- ✓ **Porcentaje de superficie mojada.** Se lo determinó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

Ne = Número de emisores por planta (u)

Ame = Área mojada por emisor (m²)

Sp = Superficie ocupada por la planta (m²)

5.3.4.1.3 Dosis, frecuencia y tiempos de riego: A continuación, se detallan cada uno:

- ✓ **Lámina neta (Ln):** Para determinar la lámina de agua, se empleó la siguiente expresión:

$$Ln = P (CC - PMP) * Da * Prof$$

Donde:

Ln = Lámina de riego (mm)

CC = capacidad de campo (decimal)

PMP = punto de marchitez permanente (decimal)

$Prof$ = profundidad de las raíces (mm)

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

P = Porcentaje de agotamiento (%)

- ✓ **Tiempo de riego.** Se empleó la siguiente ecuación:

$$t = \frac{NT * I}{e * qa}$$

Donde:

t = Tiempo de riego (h/día)

e = Número de emisores por planta (u)

Nt = Necesidades diarias (mm/día)

qa = Caudal del gotero (l/h)

I = Frecuencia de riego (día)

- ✓ **Frecuencia de riego.** Se calculó por medio de la siguiente expresión:

$$Fr = \frac{Ln. \text{ corregida}}{Nr}$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

$Ln. \text{ corregida}$ = Lámina neta o lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

Nr = Necesidades total de riego (mm/día)

5.3.4.1.4 Cálculo del caudal en las tuberías del sistema de riego

- ✓ **Caudal del lateral (Ql)**

$$Ql = qa * Ng$$

Donde:

Ql = Caudal del lateral (l/s)

qa = Caudal del gotero (l/s)

Ng = Número de goteros por lateral (u)

- ✓ **Caudal de la secundaria (Qs).** Para determinar el caudal de la tubería secundaria se aplicó la siguiente ecuación:

$$Qs = Ql * Nl$$

Donde:

Q_s = Caudal de la secundaria (l/s)

Q_l = Caudal del lateral (l/s)

N_l = Número de laterales en funcionamiento en el mismo momento (u)

- ✓ **Caudal de la principal (Q_p)**. El caudal de la tubería principal se lo determinó en base a la ecuación siguiente:

$$Q_p = Q_s * N_s$$

Donde:

Q_p = Caudal de tubería principal (l/s)

Q_s = Caudal de la tubería secundaria (l/s)

N_s = Número de tuberías secundarias en funcionamiento en el mismo momento (u)

5.3.4.2 Diseño hidráulico. Con el diseño hidráulico se determinan los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de la instalación de riego, de tal manera que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo, teniendo en cuenta el diseño agronómico previamente realizado (Jiménez, 2017).

5.3.4.2.1 Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías. Para determinar las pérdidas de fricción en las tuberías, se utilizó la fórmula de Hazen-Williams, la misma que se presenta a continuación:

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

Donde:

h_f = Pérdida de carga por fricción en la tubería (m)

Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería (adimensional)

D = Diámetro interno (mm)

L = Longitud de la tubería (m)

F = Coeficiente de Christiansen (adimensional)

- ✓ **Coeficiente de Christiansen (F)**: Para calcular las pérdidas de fricción en tuberías de salidas múltiples (h_f) se aplicó el coeficiente de reducción F , basado en el número de salidas. Debido a que, en el lateral el caudal disminuye, es necesario corregir por ese factor.

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

Donde:

F = Factor de Chisthiansen (adimensional)

n = Número de salidas en la tubería (u)

B = Factor que depende del material de la tubería: PE (1,75); PVC (1,8); aluminio (1,9)

5.3.4.2.2 Pérdidas locales o pérdidas singulares (hs). Por las pérdidas singulares de los diferentes accesorios (tees, codos, ensanchamientos, reducciones, etc), se consideró un 10 % de las pérdidas por fricción longitudinales.

5.3.4.2.3 Velocidad media del flujo. Alfaro y Nomberto (2015), señalan que la velocidad permisible en las tuberías de los laterales, secundaria y principal no deben ser menores de 0,5 m/s porque originaran sedimentación y por ende obstrucción y taponamiento de los goteros, no mayores a 2,5 m/s ya que originarían demasiadas pérdidas de presión, envejecimiento rápido de tuberías y costos más altos de energía.

Para determinar la velocidad media del flujo se empleó la siguiente expresión:

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

Donde:

V = Velocidad media de la tubería (m/s)

Q = Caudal de conducción de la tubería (m³/s)

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m²)

Para calcular el área interna de la tubería se utilizó la siguiente expresión:

$$A = \frac{\Pi * D^2}{4}$$

Donde:

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m²)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

5.3.4.2.4 Cálculo de la tubería lateral. Se consideró la norma que señala que, la variación de caudal entre dos emisores sea menor al 10 % de la descarga del mismo. Además, que la máxima pérdida de carga no sea mayor al 20 % de la presión nominal del emisor.

La ecuación de diseño se presenta a continuación:

$$\Delta H = hf \leq 20 \% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

Donde:

ΔH = Variación máxima de presión en el lateral (m)

Hf = Pérdida por fricción en el lateral (m)

Pa/γ = Presión de operación del emisor (m)

ΔZ = Diferencia de nivel de tubería lateral (m)

- ✓ **Pérdida de carga por conexión de gotero:** Se calculó la pérdida de fricción al salir el agua del gotero, la misma que es equivalente a 0,23 m por cada emisor (Watters y Keller citado por Pastor, 2019).

Consecuentemente, la longitud total del lateral se la calculó de la manera siguiente:

$$L_t = L_l + L_e (n * 0,23 \text{ m})$$

Donde:

L_t = Longitud total del lateral (m)

L_l = Longitud del lateral (m)

L_e = Longitud equivalente (m)

N = Número de goteros por lateral

5.3.4.2.5 Cálculo de la tubería secundaria: Se acogió a la norma internacional, cuya ecuación de diseño es la siguiente:

$$\Delta H = h_f \leq 15 \% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

Donde:

ΔH = Variación máxima de presión (m)

h_f = Pérdida por fricción en tubería secundaria (m)

Pa/γ = Presión de operación del emisor (m)

ΔZ = Diferencia de nivel de tubería secundaria (m)

- ✓ **Pérdida de carga en la conexión lateral – secundaria:** La pérdida de carga que se produce en la conexión lateral – secundaria se la calculó en base a la siguiente ecuación:

$$L_e = 0.10 * Q_l^{0.30} * N^{0.26}$$

Donde:

L_e = Longitud equivalente (m)

Q_l = Caudal del lateral (l/h)

N = Número de laterales (u)

Esta longitud equivalente se la sumó a la longitud de la secundaria para obtener la longitud real que sirvió para el dimensionamiento de la tubería en referencia.

5.3.4.2.6 Cálculo de la tubería principal: El diseño la tubería principal, se amparó en el método del porcentaje de presión del emisor. La ecuación de diseño es la siguiente:

$$h_f = \leq 15\% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

5.3.4.2.7 Cálculo de la presión máxima y mínima del lateral: En vista que los laterales tienen una posición horizontal (no hay desnivel), se aplicó las siguientes ecuaciones para determinar la presión máxima y mínima.

✓ **Presión máxima en el lateral**

$$\left(\frac{Po}{\gamma}\right) = \left(\frac{Pa}{\gamma}\right) + \frac{3}{4}hfl$$

Donde:

Po/γ = presión máxima en el lateral (m)

Pa/γ = presión nominal del gotero (m)

hfl = pérdida de fricción del lateral (m)

✓ **Presión mínima en el lateral**

$$\left(\frac{Pn}{\gamma}\right) = \left(\frac{Pa}{\gamma}\right) - \frac{1}{4}hfl$$

Donde:

Pn/γ = presión mínima en el lateral (m)

Pa/γ = presión nominal del gotero (m)

hfl = pérdida de fricción del lateral (m)

6. Resultados

6.1 Resultados de información primaria

El terreno es provisto por un reservorio de 2451,4 m³ de capacidad, sus dimensiones son una base irregular menor de 20m x 15m (330,73 m²) y una base irregular mayor de 35m x 25m (871,10 m²), una altura de 4,23 m.

La diferencia de nivel entre el reservorio (1 515 m s.n.m) y el área de riego (1 507 m s.n.m) es de 8 m.

A través del programa AutoCAD, los datos de campo se procesaron para formar un plano con líneas de contorno cada metro. Como resultado se obtiene un área de riego de 2 066 m² (Anexo 12).

6.2 Resultados para el primer objetivo

Caracterizar la situación productiva actual del café en la finca Agroloja de la parroquia Malacatos.

En las visitas realizadas al Barrio Santa Ana, la Finca Agroloja cuenta con un área aproximada de 14 ha de las cuales 8 ha se encuentran destinadas al café arábigo de distintas edades.

Seguidamente se realizó la aplicación de una encuesta a 8 productores de la zona de estudio, esto se debe a que en el Barrio Santa Ana en su mayoría existen casas vacacionales, terrenos abandonados o solo son viviendas y la población es muy baja en este sector, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2.
Actividad a la que se dedica.

Actividad	Frecuencia	Porcentaje %
Agricultura	6	75 %
Crianza de animales menores	0	0
Crianza de animales mayores	0	0
Profesional	1	12,5 %
Otros	1	12,5 %
Total	8	100 %

El estudio demuestra que se realiza actividades de significativo interés como es la agricultura (75 %) por lo que se deriva que toda la fuerza humana que se requiere para producir

está siendo dada por la familia. El resto de la población lo completa los profesionales (12,5 %) y personas que se dedican a otras actividades (12,5 %), tal como albañil.

Tabla 3.
Superficie de terreno.

Superficie	Frecuencia	Porcentaje %
E1: < 2ha	7	87,5 %
E2: 2ha – 5 ha	0	0
E3: 5.1ha – 10ha	0	0
E4: >10 ha	1	12,5 %
Total	8	100 %

La distribución de las tierras por estratos según el tamaño de la finca, se han clasificado de la siguiente manera: < 2 ha con (87,2 %); y de > a 10 ha (12,5 %). Según último censo agropecuario de la parroquia, indica que el 69,87 % de los productores son minifundistas (predios menores de 5 hectáreas), y de estos el 31 % tiene predios menores a 1 ha. Los productores minifundistas solamente poseen el 11,2 % de la tierra, frente al 2,78 % de los propietarios que tienen predios mayores a 50 ha y que tienen 46 % de la tierra (PDOTM, 2015). Por su parte, la Agenda de Transformación Productiva Territorial (2012) en Loja existen fincas consideradas medianas con áreas que van desde 20 a 100 ha, y que se valoran como fincas productivas, tanto agrícola como ganadera.

Tabla 4.
Tenencia de la tierra.

Tenencia de la tierra	Frecuencia	Porcentaje %
Propia	2	25 %
Arrendada	4	50 %
Prestada	2	25 %
Total	8	100 %

La investigación demuestra que en la zona de influencia la mayoría de las familias tienen tierras arrendadas (50 %), un grupo pequeño de agricultores tiene tierras propias (25 %) y en el mismo porcentaje (25 %) corresponde a las tierras prestadas o cedidas.

Tabla 5.
Superficie de terreno destinada a los cultivos.

Encuestas	Café (ha)	Caña (ha)	Yuca (ha)	maíz (ha)	Guineo (ha)	No siembra	Total	Porcentaje %
1	8						8	93,79 %
2		0,5					0,5	5,86 %
3			0,02		0,01		0,03	0,35 %
4						0	0	0
5						0	0	0
6						0	0	0
7						0	0	0
8						0	0	0
Total	8	0,5	0,02	0	0,01	0	8,53	100 %

En el barrio Santa Ana, las superficies del terreno en su mayoría están destinadas a viviendas y casas vacacionales, es decir no siembra, mientras que el resto corresponde a superficies destinadas a diferentes cultivos.

La finca Agroloja es quien actualmente se dedica a la producción para exportación del cultivo de café (8 Ha) que representa el 93,7 %, mientras que en otras fincas siembran otros cultivos como caña (0,5 ha) equivalente a 5,8 %, yuca (0,02ha) y guineo (0,01 ha) tal como lo indica la Tabla 5.

Tabla 6.
Métodos de riego utilizados en el barrio Santa Ana

Método de riego	Frecuencia	Porcentaje %
Aspersión	0	0
Goteo	1	12,5 %
Gravedad	2	25 %
Ninguno	5	62,5 %
Total	8	100 %

En la zona de estudio las personas que disponen de riego lo hacen por goteo (12,5 %) y gravedad (25 %), y el resto de la población no dispone de ningún método de riego (62,5 %) tal como lo indica la Tabla 6. Según NETAFIM (2020), se ha comprobado que el riego por goteo aumenta el rendimiento de los cultivos, al mismo tiempo que mejora la calidad de los cultivos, ya que este sistema de riego ofrece mayores rendimientos económicos que cualquier otro método es debido a que la tecnología de goteo genera importantes ahorros de agua, fertilizantes y mano de obra.

Tabla 7.
Superficie regable en el predio.

Superficie regable	Frecuencia	Porcentaje %
Toda	1	12,5 %
En parte	2	25 %
No uso de riego	5	62,5 %
Total	8	100 %

La investigación demuestra que en la zona de estudio las personas que riegan toda la superficie corresponden al 12,5 %, seguido del 25 % que corresponde a las personas que riegan en parte el terreno, es decir solo riegan ciertos sectores donde tengan sus cultivos, mientras que el 62,5 % no riega ninguna superficie debido a que la mayor parte de terreno del Barrio Santa Ana son utilizadas como casas vacaciones, viviendas y muy pocas para para la siembra de cultivos.

El sistema de riego Campana Malacatos tiene un total de 832,31 ha; de las cuales 772,00 son regables, pero en la actualidad se está regando solamente 675,01 ha, el 69,99 ha no están siendo regadas por el apareamiento de asentamientos de suelos en los sectores de San José y El Sauce, que se han activado debido a fallas geológicas, además un gran porcentaje de usuarios que viven en la ciudad de Loja no cultivan sus propiedades dentro del área de influencia del canal (RIDRENSUR EP, 2009, como cito PDOT, 2019).

Tabla 8.
Que variedad de café cultiva.

Variedad	Frecuencia	Porcentaje %
Arábigo	1	12,5 %
Robusta		
Arábigo y Robusta		
Ninguna	7	87,5 %
Total	8	100 %

En el barrio Santa Ana, en la finca Agroloja el 12,5 % cultiva la variedad de café Arábigo mientras que el 87,5 % de las otras fincas no siembra ninguna variedad de café debido a que siembran otros cultivos como caña, yuca, maíz etc. Siendo estos cultivos para uso de sus familias.

Tabla 9.*A quien está destinada la producción de café.*

El café lo vende a	Frecuencia	Porcentaje %
Comerciantes del pueblo		
Exportadores		
Asociación	1	100 %
Total	1	100 %

La producción de café de la finca Agroloja el (100 %) está destinada a exportadores debido a su alto valor económico fuera del país.

Tabla 10.*Cantidad de café que vende al año.*

Cantidad de café (qq)	Frecuencia	Porcentaje %
0 a 3		
4 a 6		
7 a 9	x	100 %
> 10		
Total		100 %

La finca Agroloja vende de 7 a 9 qq de café arábigo al año. Según el Telégrafo (2018), datos de la Asociación Nacional de Exportadores de Café (Anacafé) indican que el año 2017 se exportaron 695 144,07 sacos de café de 60 kilos (entre el tipo arábigo, robusta e industrializado). Dicha cifra representa una disminución del 24,5 % con relación al 2016, cuando se enviaron al exterior 921 174,29 sacos.

Tabla 11.*Como vende el café.*

Cómo vende el café	Frecuencia	Porcentaje %
Grano	x	100 %
Tostado		
Procesado		
Total		100 %

El café de la finca Agroloja es vendido en grano a exportadores para que posteriormente este sea procesado según la conveniencia de los compradores.

Tabla 12.
Precio del café.

Variedad	Precio del café (qq)
Arábico	700 USD
Robusta	0

En la Finca Agroloja en el año 2019 se logró vender cada quintal de café en grano a \$700. La Asociación Nacional de Exportadores de Café (Anacafé), indicó que en el 2017 el país exportó cerca de 80 000 sacos de café en grano de 60 kilos entre las variedades Arábico y Robusta (Telégrafo, 2018).

Según ANACAFE; el precio referencial en el mercado internacional del 2020 en New York es de 111,35 dólares por cada quintal de café, mientras que en Londres la tonelada de café está a 1 288,00 dólares.

6.3 Resultados para el segundo objetivo

“Determinar las características edafoclimáticas de la zona de estudio”

6.3.1 Constantes hidrofísicas y físicas del suelo

Proporciones adecuadas de agua, microorganismos y propiedades minerales proveen condiciones suficientes para el crecimiento de las plantas; por lo tanto, los resultados de laboratorio se muestran en el (Anexo 2).

Tabla 13.
Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

<i>Método de obtención de muestras</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>
ZIG-ZAG		
Textura	s/u	Franco
CILINDROS KOOPECKY DE 100 cm³		
Densidad aparente	g/cm ³	1,63
Densidad real	g/cm ³	2,3
CC pF= 2,0	%	26,95
PMP pF= 4,2	%	14,65
Agua Aprovechable	%	12,3

Fuente: Laboratorio de Agrocalidad

La proporción de las partículas de suelo analizados en el laboratorio para determinar la textura del suelo del primer horizonte, fueron de: 40 % de arena, 20 % de arcilla, 40 % de limo. La textura del suelo es Franco.

Por otro lado, los resultados de las constantes hidrofísicas a una tensión de pF = 0 fue de 29,13 % θ_v ; la capacidad de campo (CC) a pF = 2,0 fue 26,95 % θ_v ; según Valverde (2007), este coeficiente depende de la textura, el contenido de materia orgánica y el grado de

compactación del suelo. Cuando el suelo se encuentra a CC empiezan aparecer los poros con aire, el cual crea un ambiente propicio para el crecimiento de los cultivos (Holzmann, 2015). El contenido de humedad a punto de marchitez permanente (PMP), a un $pF = 4,2$ se obtuvo un valor de $14,65 \% \theta_v$.

6.3.2 Curva de retención de humedad del suelo

En base al contenido de agua del suelo a diferentes tensiones, se obtuvo que el agua aprovechable del primer horizonte fue de $12,3 \% \theta_v$, valor que se encuentra en el rango de medio; mientras que la capacidad de aireación del horizonte en referencia fue de $2,2 \% \theta_v$ correspondiéndole un rango de muy bajo. La evaluación física de las condiciones del suelo es Muy Pobre. (Figura 8, Anexo 4).

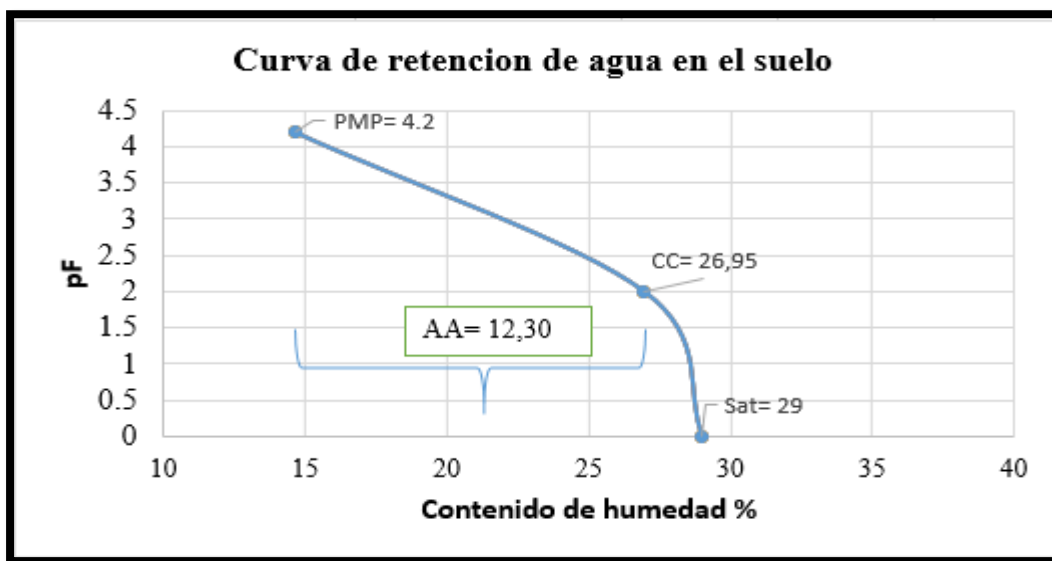


Figura 4. Curva de retención de agua en el suelo.

6.3.3 Infiltración del agua en el suelo

La velocidad de infiltración básica del agua en el suelo fue de $15,0 \text{ cm/h}$ equivalente a rápida (Anexo 9).

La intensidad de precipitación del sistema de riego fue de $1,3 \text{ mm/h}$, la misma que se la determinó a través de la ecuación siguiente:

$$IP = \frac{qa \cdot n}{Se(c + C)}$$

$$IP = \frac{4 \text{ l/h} * 1}{1,5 \text{ m} (0,5 + 1,5)}$$

$$IP = 1,3 \text{ mm/h}$$

Al comparar estos dos resultados, se concluye que se cumple con la norma, en que la $IP < VIB$.

$$0,13 \text{ cm/h} < 15,0 \text{ cm/h}$$

A continuación se presenta os resultados obtenidos en el requerimiento de riego para el cultivo de café:

Tabla 14.
Resultados del segundo objetivo.

REQUERIMIENTOS DE RIEGO												
Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Pe (mm/día)	0,96	2,93	2,3	1,9	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,90	1,52
ETo (mm/día)	3,6	3,8	3,8	3,6	3,5	3,4	3,4	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8
Kc	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
ETc (mm/día)	3,42	3,61	3,61	3,42	3,33	3,23	3,23	3,42	3,61	3,61	3,61	3,61
Nr de riego (mm/día)	2,46	0,68	1,31	1,52	3,05	3,23	3,23	3,42	3,61	2,11	2,71	2,09
Eficiencia del sistema (%)							0,9					
NB (mm/día)	2,7	0,8	1,5	1,7	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	2,3	3,0	2,3

Considerando la eficiencia del sistema de riego por goteo de 90 %, el máximo requerimiento de riego bruta, le correspondió al mes de septiembre con 4 mm/día y el mínimo fue para febrero con 0,8 (mm/día).

6.4 Resultados para el tercer objetivo

“Realizar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo para la producción de café”

6.4.1 Diseño Agronómico

6.4.1.1 Necesidades de agua del cultivo. Se realizó las siguientes correcciones:

- ✓ Corrección por efecto de localización (Kl): La corrección por (KI) se considera la fracción del área sombreada con respecto a la superficie total proyectada de la planta, donde el diámetro de la copa del café se estima de 1,40 m. El porcentaje de área sombreada es 52 %, siendo $A = 0,52$

$$A = \frac{\pi Dm^2}{4(a * b)} = \frac{3,1416 * (1,40m)^2}{4(1,47 * 2)} = 0,52 m$$

Al valor de A calculado se lo aplica en las siguientes formulas:

$$\text{Aljibury} \Rightarrow Kl = 1,34 A \quad Kl = 0,70$$

$$\text{Decroix} \Rightarrow Kl = 0,1 + A \quad Kl = 0,62$$

$$\text{Hoare} \Rightarrow Kl = A + 0,5 (1-A) \quad Kl = 0,76$$

$$Keller \Rightarrow Kl = A + 0,15 (1-A) \qquad Kl = 0,60$$

De éstos cuatro valores, se eliminaron los dos extremos y se promedió los medios, cuyo resultado es de 0,66.

- ✓ Coeficiente por variación climática (Kv): Como la ETo utilizada en el cálculo equivale al valor medio del periodo estudiado, debe mejorarse multiplicándola por un coeficiente. Adoptamos el criterio de Hernández Abreu de aplicar siempre un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20. Se consideró un Kv: 1,20 debido a que en el riego por goteo el suministro de agua se suministra rigurosamente la cantidad requerida por la planta por lo cual es necesario incrementar las necesidades para corregir las épocas deficitarias.
- ✓ Coeficiente por advección (Ka): Se cuantificó en función del tamaño de la zona de riego (0,2066 ha) y del tipo de cultivo (café). Su valor determinado fue de Ka = 1,1 factor que corrige el efecto de los cultivos colindantes, considerando que las parcelas contiguas no afectan al área de estudio.

Una vez obtenidos los valores se calculó las necesidades de agua para la planta, que son:

$$E_{trl} = N_b \times K_l \times K_v \times K_a$$

$$E_{rl} = 4,0 \text{ mm/día} * 0,66 * 1,20 * 1,11$$

$$E_{trl} = 3,5 \text{ mm/día}$$

6.4.1.2 Necesidades netas de riego (Nn). Es posible que durante el mes de mayor requerimiento hídrico, haya cierta cantidad de lluvia que resulte en una precipitación efectiva; Sin embargo, esto no debe tenerse en cuenta porque es muy poco probable que entre los intervalos de dos riegos se produzca uno, para lo cual $Pe = 0$, también debe indicarse que la zona a regar no se encuentra cerca de una capa freática o una fuente de agua siendo $G_w = 0$, la variación en el almacenamiento de agua Δw en el suelo no se tiene en cuenta porque los riegos localizados intentan mantener el potencial hídrico del suelo en cero reemplazando el agua extraída. Por lo tanto, $Nn = 3,5 \text{ mm/día}$.

6.4.1.3 Necesidades brutas o totales de riego (Nt). En riegos localizados se consideran pérdidas por percolación ya que las pérdidas por escorrentía se presentan solo en casos extremos por lo que no se los considero en este diseño.

Pérdidas por percolación (K) se las considera debido a que el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra hacia las capas más profundas.

Para el cultivo de café se presenta una demanda hídrica total de 4,3 mm/día, valor que se considera en el diseño del sistema de riego.

- ✓ Necesidades diarias por árbol: Tomando en cuenta el marco de riego (1,47 m x 2 m) y las necesidades totales (NT), se obtuvo una necesidad diaria por árbol de 12,9 l/árbol/día.

6.4.1.4 Parámetros de riego. Primeramente, se seleccionó el gotero cuyas características se presentan en el (Anexo 8).


ELECCION DEL GOTERO		
	Gotero (autocompensado)	naandanjain color verde
	caudal (l/h)	4 l/h
	presión (bar)	0,5 – 4,0 bar
	CV	muy bajo
	Exponente x	0

Figura 5. Gotero seleccionado.

Área mojada del emisor (Ame): Para determinar el área mojada por emisor resulta complicado debido a que en las dimensiones del bulbo húmedo intervienen factores como la textura o volumen de riego, por lo que se calculó mediante la siguiente fórmula, dando como resultado un diámetro mojado del bulbo de 1,14 m y el área mojada por el emisor de 1,02 m².

Número de emisores por planta (Ne): Las necesidades totales de la planta de café son de 4,3 mm/día (12,6 l/planta/día) y el número de emisores para satisfacer estas necesidades es de un emisor por planta.

Porcentaje de superficie mojada (P): Con los siguientes resultados de número de emisores (1 u), el área mojada (1,02 m²) y su disposición (1,5 x 2) se obtuvo un nuevo porcentaje de suelo mojado 34 %.

6.4.1.5 Dosis, frecuencia y tiempos de riego. Los resultados se muestran a continuación:

- ✓ Lámina edáfica (mm): La lámina edáfica fue de 39 mm. En el sistema de riego por goteo toda el área del suelo no se moja como en el riego de superficie o aspersión, por ende, es importante corregir la lámina. Se corrigió multiplicando la lámina edáfica (39 mm) por el porcentaje de suelo mojado (34 %), así resultó la nueva lámina edáfica corregida de 13,3 mm.

- ✓ Frecuencia de riego: El número de días que transcurre entre riegos para el cultivo de café es de 3 días, al tratarse de un sistema de riego de alta frecuencia se asume como frecuencia de riego 1 día
- ✓ Tiempo de riego: El tiempo que se necesita para reponer el agua que ha evapotranspirado el cultivo de café y el suelo es de 3,2 horas.

6.4.2 *Diseño Hidráulico*

Los resultados obtenidos en el diseño hidráulico son los siguientes:

6.4.2.1 Sistema de filtrado. Los filtros de riego por goteo filtran las partículas del agua suministrada de aguas superficiales como ríos, lagos o pozos, es decir el agua utilizada para riego no siempre es de la mejor calidad, por eso es necesario la implementación de equipos de filtraje para disminuir la cantidad de impurezas que ingresan al sistema de riego, garantizando de esta forma el óptimo funcionamiento de este y así evitar fallas severas perjudicando el correcto funcionamiento del sistema de riego que puedan afectar la productividad (Portalfruticola, 2020).

Debido a estos antecedentes se instalará un filtro Alfa tipo Y plástico, anilla plástica, el cual se encontrará ubicado en el cabezal de control, cuyas características técnicas son las siguientes:

Marca: Alfa

Modelo: FIALOA000150130. Diámetro 1 ½”

Caudal Max: 460 l/min

Pérdida de carga: 0,5 bar

Mesh: 120

6.4.2.2 Dimensionamiento de tuberías. A continuación, se presentan las características más relevantes del diseño de las tuberías del sistema de riego por goteo.

✓ **Lateral de riego**

Longitud equivalente para la tubería lateral: Para conocer la longitud total del lateral, se calculó la pérdida de carga por emisor de la manera siguiente:

Tabla 15.

Cálculo de la longitud equivalente.

$L_t = L_l + L_e (n * 0,23)$	
Ll	40 m
N	27 m
0,23	0,23
Le	46m

Los laterales de riego son de polietileno con un diámetro nominal e interno de 12 y 8 mm respectivamente; el caudal es de 0,03 l/s resultando una pérdida de carga por fricción de 1,1 m y una velocidad de 0,68 m/s la cual se encuentra dentro del rango normal.

Tabla 16.

Dimensionado del lateral crítico.

LATERAL CRITICO	
Horizontal	
Material	Polietileno
Longitud	46 m
Caudal	0,03 l/s – 0,00003 m ³ /s
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	8 mm
B	1,75
Número de salidas	31
Área	0,00005 m ²

Tabla 17.

Resultados del lateral crítico.

Resultados	
Factor de Christiansen	0,36
Pérdida de carga de presión	1,1
Velocidad permisible de flujo	0,68 m/s

Los laterales de riego son de polietileno con un diámetro nominal e interno de 12 y 8 mm respectivamente; el caudal es de 0,03 l/s resultando una pérdida de carga por fricción de 1,1 m y una velocidad de 0,68 m/s la cual se encuentra dentro del rango normal.

$$\Delta H = hf \leq 20\% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

$$hf = 20\% (10 \text{ m})$$

$$hf = 2,0$$

$$1,1 \text{ m} \leq 2,0 \text{ m}$$

Tabla 18.

Resultados de la presión máxima y mínima del lateral.

Presión máxima y mínima del lateral	
Presión máxima del lateral	10,8 m
Presión mínima del lateral	9,7 m

Con respecto a las presiones en el lateral, y dado que los mismos se ubican de manera horizontal (sin desnivel), se cumple con la norma que la presión máxima se produce al inicio del lateral (10,8 m) y la presión mínima se genera al final del mismo (9,7 m).

✓ **Tubería secundaria (porta lateral)**

Pérdidas de carga por conexión lateral – secundaria: Las pérdidas de carga localizadas ocasionadas por el punto de conexión de la tubería lateral con la terciaria son:

$$Le = 0,10 * Q_1^{0,30} * N^{0,26}$$

$$Le = 0,10 * 108^{0,30} * 27^{0,26}$$

$$Le = 0,96 \text{ m}$$

$$L_{ter} = L_r + Le$$

$$L_{ter} = 67 \text{ m} + 0,96 \text{ m}$$

$$L_{ter} = \mathbf{68 \text{ m}}$$

Tabla 19.

Dimensionado de la tubería secundaria.

TUBERIA SECUNDARIA	
Descendente	16 unidades
Material	PVC
Longitud	68 m
Caudal	1,02 l/s – 0,00102 m ³ /s
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	37 mm
B	1,8 (PVC)
Número de salidas	34
Área	0,00107 m ²
Presión de trabajo	0,80 Mpa

Tabla 20.

Resultados de la tubería secundaria.

Resultados	
Factor Christiansen	0,35
Perdidas por carga de presión	0,64 m
Velocidad permisible de flujo	0,95 m/s

La tubería es PVC; tiene una longitud de 68 m; el diámetro nominal e interno es de 40 y 37 mm en su orden. El caudal es de 1,02 l/s resultando una pérdida de carga por fricción de 0,64 m y una velocidad de 0,95 m/s.

$$\Delta H = hf \leq 15 \% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

$$hf \leq 15 \% (10m) + 14 m$$

$$hf \leq 1,5 m + 14 m = 15,5 m$$

$$\mathbf{0,64 m \leq 15,5 m}$$

✓ **Tubería principal**

Tabla 21.

Dimensionamiento de la tubería principal.

TUBERÍA PRINCIPAL	
Material	PVC
Longitud	57 m
Caudal	1,02 l/s
Coefficiente de rugosidad	150
Diámetro interno	37 mm
Área	0,00107 m ²
Presión de tubería	0,80 Mpa

Tabla 22.

Resultados de la tubería principal.

Resultados	
Perdidas por carga de presión	1,5 m
Velocidad permisible de flujo	0,95 m/s

La tubería principal es de material PVC con una longitud de 57 m; sus diámetros externo e interno son 40 y 37 mm respectivamente; el caudal es de 1,02 l/s. La velocidad del agua es de 0,95 m/s y la pérdida de carga por fricción (hf) es de 1,5 m.

$$\Delta H = hf \leq 15 \% Pa/\gamma \pm \Delta Z$$

$$hf \leq 15 \% (10m) + 5 m$$

$$hf \leq 1,5 m + 5 m = 6,5 m$$

$$\mathbf{1,5 m \leq 6,5 m}$$

En la tabla 23 se presenta un resumen del dimensionamiento de las tuberías del sistema de riego por goteo.

Tabla 23.

Dimensionamiento de tuberías del sistema de riego por goteo.

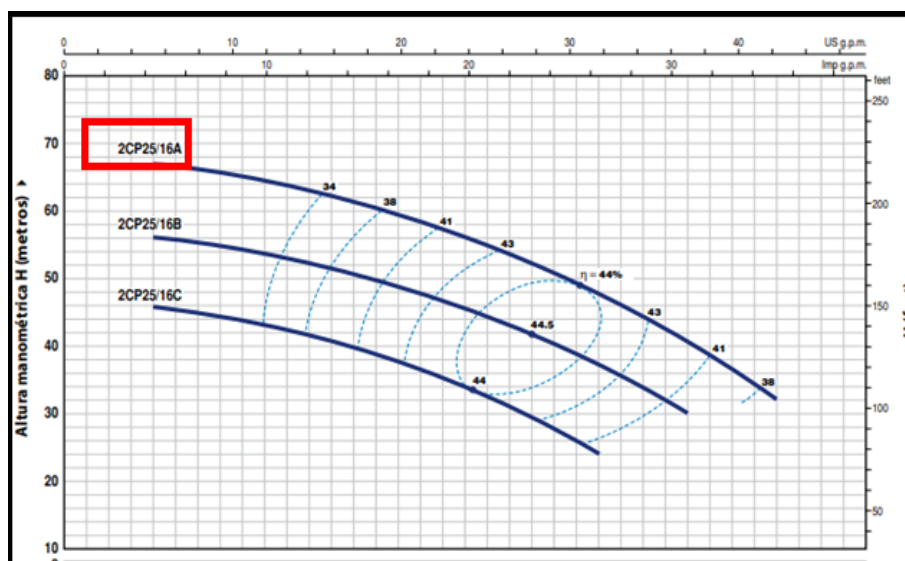
Tubería	Material	Caudal (l/s)	Longitud (m)	D. interno (mm)	Hf (m)	Velocidad (m/s)
Lateral	Pe	0,03	46	8	1,1	0,68
Secundaria	PVC	1,02	68	37	0,64	0,95
Principal	PVC	1,02	57	37	1,5	0,95

6.4.2.3 Requerimiento total de energía para el funcionamiento del sistema de riego por goteo. Para determinar el requerimiento de carga total, se consideró las siguientes demandas de energía: presión de trabajo del emisor: 10 m; sistema de filtración: 5 m; equipo venturi: 5 m; pérdidas de fricción en tuberías: 3,23 m; 10 % de pérdidas de carga localizadas (accesorios) de las pérdidas por fricción en tuberías: 0,32 m. El requerimiento de carga total para el funcionamiento del sistema de riego por goteo es de 23, 6 m.

Por otro lado, existe un desnivel positivo desde el reservorio al área de riego de 8 m y la profundidad del reservorio es de 4 m; consecuentemente el requerimiento de carga neto es de 11,6 \approx 12 m; por lo tanto, es necesario implementar una electrobomba para el correcto funcionamiento del sistema de riego por goteo.

- ✓ Selección de la electrobomba: La electrobomba se seleccionó en función de la altura manométrica total o carga dinámica total (12,0 m.c.a) y caudal de diseño (3672 l/h).
 - ✓ Carga dinámica total (CDT): 12,0 m.c.a
 - ✓ Caudal: 3672 l/h

La electrobomba elegida es la modelo Trifásica 2CP 25/16 A de 3 HP y cuya altura manométrica total es de 32, las características se presentan en la Figura 6.



MODELO		POTENCIA (P ₂)			Q	m ³ /h															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		0	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	8.4	9.6		
2CPm 25/16C	2CP 25/16C	1.1	1.5		0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160			
2CPm 25/16B	2CP 25/16B	1.5	2	IE3	H metros	58	56	55	54	53	51	49.5	47.5	45.5	43	40	37	30			
2CPm 25/16A	2CP 25/16A	2.2	3			68	67	66	65	63.5	62	60.5	58.5	56	54	51	48	40.5	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.
▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

Figura 6. Curva de H – Q de la electrobomba y características.

6.4.3 Operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo

Operación: La lámina de riego (4,3 mm/día), la frecuencia (3 días) y el tiempo de riego (3,2 horas), serán distribuidos con un riego diario, a fin de mantener húmeda la zona radicular, en vista de las condiciones climáticas del sitio y la textura del suelo (franco). Diariamente se aplicará una lámina de 1,43 mm (4,3 l/árbol) por 65 minutos. Por otro lado, el diseño del sistema de riego por goteo está establecido para que se riegue toda la unidad al mismo tiempo, ya que se trata de un área relativamente pequeña y el caudal disponible es suficiente para regar toda el área en un solo turno.

Mantenimiento: Es necesario cumplir con las siguientes normas de mantenimiento del sistema de riego por goteo:

- ✓ Previo a la aplicación del agua, es necesario “purgar” el sistema de riego por un tiempo de 10 minutos, para ello hay que quitar los tapones finales de las tuberías principal y secundaria; así como las seguridades de las terminales de todos los laterales.
- ✓ Al momento de funcionamiento del sistema de riego, revisar de manera periódica la red de tubería a fin de identificar cortaduras, fugas de agua en tubería o conexiones.
- ✓ Con una frecuencia de unos 3 meses es necesario realizar una prueba de uniformidad del sistema de riego. El cual consiste en elegir un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro del área de riego, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular el coeficiente de uniformidad, con respecto a los laterales se elige el lateral más cercano y el más lejano del inicio de la unidad.

Entre ambas laterales se eligen otras dos laterales intermedias, ubicadas a 1/3 y a 2/3 de la longitud de la terciaria y dentro de cada lateral se seleccionan cuatro emisores, siguiendo el mismo criterio; es decir el más cercano y el más lejano del inicio de cada lateral y dos emisores intermedios.

Para realizar la evaluación del coeficiente de uniformidad en un sistema de riego se necesita de un recipiente hondo, probeta y un reloj. Los datos de descarga recogidos en

terreno se traspasan a una plantilla de Excel, donde el caudal será el volumen de agua que entra en el recipiente, durante 1 minuto.

Se aplica la fórmula de coeficiente de uniformidad y los resultados se los evalúan como excelente cuando el coeficiente es mayor a 90 %, bueno de 80 – 90 %, Aceptable de 70 – 80 % y no se acepta cuando es menor de 70 %. Este método es una herramienta simple y de bajo costo para el monitoreo del riego, ya que permite obtener información relevante y dar cuenta de cómo se está regando, lo que ayudara al productor a ser eficiente en el uso del recurso hídrico.

- ✓ Con un manómetro, se debe revisar las presiones de trabajo en los diferentes puntos del sistema de riego. Además, es recomendable revisar los manómetros que presentan fallas, rotura de vidrio, pérdida de glicerina o no se encuentren correctamente calibrados, para el efecto se recomienda disponer de un manómetro calibrado como elemento de referencia para comparar las mediciones de los otros manómetros.
- ✓ Se debe revisar el funcionamiento del inyector Venturi antes de cada uso, para evitar la acumulación de compuestos de baja solubilidad en el fondo del tanque donde se prepare la solución. Todo el sedimento acumulado en este tanque debe ser retirado, el operador debe usar el equipo de protección personal recomendado por el fabricante de los productos químicos, sean estos para las manos, brazos, cabeza, ojos etc.
- ✓ Previa al funcionamiento del sistema de riego, es imprescindible que se realice una revisión periódica del diferencial de presión entre los manómetros a la entrada y salida del filtro pues este diferencial indica el grado de suciedad del este. Cuando la diferencia de presión es del orden de 5 a 7 m.c.a, se deben limpiar cuidadosamente. Para realizar la limpieza (manual) se debe retirar la carcasa de sujeción del filtro de la parte de abajo, la cual se desenrosca suavemente girando en contra de las manecillas del reloj, luego se retira el cartucho que contiene las anillas y se pueden limpiar con un cepillo de cerdas suaves o con una manguera a presión. Una vez realizado la limpieza se vuelve a colocar el caucho y asegurar la carcasa, posteriormente se deja correr agua a través del cabezal de riego y se verifica que las pérdidas de carga hayan reducido. Una buena práctica consiste en realizar una limpieza del filtro a una escala mensual.

7. Discusión

7.1 Discusión del primer objetivo

“Caracterizar la situación productiva actual del café en la finca Agroloja de la parroquia Malacatos”

El INEC (2010) menciona que el 78 % de la población está vinculada directa o indirectamente a la agricultura y el 22 % restante se dedica a otras actividades, cifras que coinciden con los resultados obtenidos en la zona de estudio.

Cobos (2019), señala que en la parte baja del sistema de riego Campana Malacatos, se observa predios de tamaño reducido debido a que han sido fraccionados para usarlos con fines recreativos. Además, se pudo observar que la mayor parte de los terrenos se encuentran en el rango de 2 000 a 10 000 m², cifras que coinciden con los resultados obtenidos en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos en esta investigación contrastan con los datos del III Censo Nacional Agropecuario de 2012 del cantón de Loja, en el cual se registra que el 75 % de la superficie tienen título de propiedad, 13 % corresponde a tenencia mixta, el 6 % pertenece a la tenencia a través de una comunidad o asociación, el 3,5 % restante se refiere a otra forma de ocupación y solo el 2,5 % corresponde a la tenencia en forma ocupada sin título.

Luna (2017) anota, que en el sistema de riego La Era, el 76 % de la superficie está cultivada, sobresaliendo los cultivos anuales con 36,8 %, los cultivos permanentes con 17,4 % y pastos con un 22 %.

Los métodos utilizados por los usuarios de las juntas son: el riego por gravedad ocupando una superficie de 572,29 ha que representa el 70 %, seguido del riego por aspersión, que principalmente lo usan los dueños de los predios que están junto al canal, con 230 ha equivalente a 29 %, y en una menor superficie existe el método de riego por goteo con apenas 10,7 ha que corresponde al 1 % (Cobos, 2019).

Según Cumbicos y Jiménez (2012), el café arábigo es una de las variedades que posee mayor representatividad en la zona 7 del país, es así que el 96% de los caficultores de esta zona producen café arábigo, del mismo que se derivan otras variedades como: caturra, bourbon y típica; a diferencia del 3 % que producen la especie robusta; quedando tan solo el 1 % de caficultores que producen las dos variedades de café. Además, las provincias de la zona 7 del país, poseen condiciones climáticas favorables para que la variedad de café arábigo se propague.

El café ecuatoriano se exporta actualmente a cerca de cincuenta países, entre los cuales se encuentran Estados Unidos, Colombia, España, Chile, Alemania, Italia, Francia, Polonia, Japón, Bélgica, Canadá, Países Bajos, Argentina y Suiza (Delgado, 2012).

Según el Comercio (2019), se llevó a cabo el XIII concurso Taza Dorada que premia la mejor cosecha de café arábigo especial en Ecuador, evento organizado por la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANACAFE). El primer lugar lo obtuvo el cantón Sozoranga de la provincia de Loja, con un puntaje record histórico de 91,19 puntos.

Según la Organización Internacional del Café, el café es de vital importancia para la economía de muchos países en desarrollo, ya que representan una parte sustancial de sus ingresos en divisas, y un ingreso significativo a las familias caficultoras.

7.2 Discusión del segundo objetivo

“Determinar las características edafoclimáticas de la zona de estudio”

García (2013, como se citó en Aguinsaca, 2020) menciona que los suelos francos son los más importantes en el uso agrícola al retener mayor cantidad de agua disponible para la planta; sin embargo, son suelos ligeros, aireados y permeables. Silva (sin fecha) ratifica que los mejores suelos para el cultivo de café son los francos, con adecuada profundidad efectiva, suficiente aireación y moderada permeabilidad.

Según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para una textura de suelo Franco la densidad aparente ideal para el crecimiento de las raíces es $< 1,4 \text{ g/cm}^3$ lo cual indica que la densidad aparente del suelo de la finca Agroloja es alta ($1,63 \text{ g/cm}^3$) y no es adecuada para el correcto crecimiento de las raíces. Cuando se compacta el suelo la densidad aparente se incrementa y afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces (Salamanca y Sadeghiank, 2004).

El agua aprovechable en el primer horizonte de la finca Agroloja es de 12,30 %, según Valarezo *et al.*, (1998), el agua aprovechable está en un rango alto (9 % - 15 %), siendo beneficioso para el cultivo de café, pues mientras más alto sea el contenido de humedad aprovechable para la planta mejor será su rendimiento.

La evaluación física del suelo de la zona de estudio fue de muy pobre, al respecto Silva *et al.*, (1998), señala que un suelo pobre, carece de buena estructura y textura y retiene poca cantidad de agua, para lo cual se recomienda aplicar frecuentemente materia orgánica y abono natural, para aumentar la porosidad y la fertilidad del suelo.

Por otro lado, el resultado de la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo, 15 cm/h (rápida) tiene correspondencia con la textura del suelo (franco), al respecto Baker (2014)

citado por Valarezo *et al.*, (2020) señala que la infiltración es probablemente el parámetro más sensible a la compactación por pisoteo de los animales, ya que afecta la macro - porosidad superficial vía de circulación de agua de infiltración.

El resultado de la intensidad de precipitación del sistema de riego de 0,13 cm/h es producto principalmente del bajo caudal que tienen los emisores; sin embargo, se cumple con la norma básica de diseño, en la que la intensidad de precipitación debe ser menor a la velocidad de infiltración básica del agua.

$$0,13 \text{ cm/h} < \text{VIB } 15 \text{ cm/h}$$

Resultado que determina que en suelos planos no habrá encharcamiento del agua y en suelos con pendiente, no se producirá escorrentía superficial y no habrá riesgo de erosión, aumentando con ello la disponibilidad de agua para los cultivos. Fernández et al. (2010), afirman que al cumplirse la condición $I_p \leq \text{VIB}$ el agua que aplican los goteros se logrará infiltrar sin producir encharcamiento ni escorrentía.

La precipitación efectiva es la más importante para las plantas ya que gracias a este elemento y a las condiciones ambientales favorables pueden desarrollarse y cumplir las fases fenológicas (Sandoval, 2014). En climas secos, las lluvias inferiores a 5 mm no añaden humedad a la reserva del suelo, ya que se considera una precipitación efectiva nula. En la investigación realizada por Cuenca (2021) manifiesta que los meses de mayor precipitación efectiva se dan en febrero, marzo y abril, con valores de 79, 75, 55 mm respectivamente; mientras que las menores precipitaciones se presentan en junio, julio y agosto con 0,0 mm en todos los meses, valores que concuerdan con la presente investigación.

CENICAFÉ (2010, como se citó en Maza, 2020) establece que para cafetales de un año de vida el coeficiente Kc es de 0,8 para cafetales de dos años es de 0,95 mientras que para cafetales de tres años o más el Kc es de 1,05 con una profundidad de raíces de 40 cm. El café de la finca Agroloja tiene 2 años de edad.

La Evapotranspiración de cultivo está en función del clima, las características del cultivo, las prácticas de manejo y el medio de desarrollo, por lo tanto, el conocimiento preciso de la ETc es una herramienta fundamental que contribuye con una adecuada gestión de los recursos hídricos y con el mejoramiento de la productividad de los cultivos (Cenicaña, 2015).

Según la FAO (2016), el requerimiento de riego representa la fracción de los requerimientos de agua del cultivo que necesita ser satisfecha a través del riego a fin de garantizar óptimas condiciones de desarrollo del cultivo, es decir la finca Agroloja necesita riego todo el año debido a que las precipitaciones en este lugar son muy bajas o nulas. Según

Cañar (2016), el requerimiento hídrico para el cultivo de café, se intensifica en el mes de agosto y se disminuye para los meses de marzo y abril.

7.3 Discusión del tercer objetivo

“Realizar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo para la producción de café”

Se seleccionó goteros autocompensantes debido a que en la finca Agroloja cuenta con un terreno muy accidentado y según Mula (2022) los goteros autocompensantes son los más recomendables ya que proporcionan el mismo caudal independientemente de la presión de trabajo de los mismos y la pendiente del terreno; además que posee una vida útil mayor que los turbulentos, ya que resisten mejor los cambios de presión y acumulan menos suciedad.

Calvache (2012) señala, que el porcentaje de superficie mojada debe ser mayor a 33 % ya que es importante para el desarrollo radicular de la planta, además de ser un indicador que confirma que el espaciamiento del emisor y número de emisores óptimos para el cultivo, demostrándose que el porcentaje de humedad calculado para la finca Agroloja está dentro del rango permisible.

En todos los sistemas de riego por presión y más aún en el goteo, es recomendable un sistema de filtración. Los riegos tradicionales han dado paso a las nuevas técnicas, que mejoran el rendimiento de los cultivos y también minimizan el consumo de agua, pero el buen funcionamiento de los nuevos sistemas de riego depende siempre de la calidad del agua. Una mala calidad del agua provocará obstrucciones en los emisores, reduciendo la eficiencia y uniformidad del riego, lo que supondrá un mal desarrollo del cultivo y una reducción del rendimiento en la producción (Traxco, 2016).

La variación de la presión en los laterales no debe superar el 20 % de la presión de operación del gotero. En los laterales de la zona de estudio, los mismos están dispuestos de manera horizontal (no hay desnivel), el criterio se cumple, debido a que la pérdida de carga en el lateral es menor que la admisible ($1,1 \text{ m} < 2,0 \text{ m}$).

La variación de la presión en la tubería secundaria no debe superar el 15 % considerando el desnivel del mismo (Ortiz 2020, citado por Robles 2021). En el presente diseño, la tubería secundaria tiene un desnivel positivo de 14 m, por lo que hay un rango muy amplio como pérdida admisible: $0,63 \text{ m} < 15,5 \text{ m}$.

Según Valarezo (2013, como se citó en Robles, 2021), señala que el diseño de la tubería principal considera no tener pérdidas superiores al 15 % de la presión de operación del emisor

(10 m) en la tubería principal, considerando igualmente el desnivel de la tubería. En el diseño presente, se cumple con lo anotado, ya que hay un desnivel favorable (5 m). $1,5 \text{ m} < 6,5 \text{ m}$.

Las velocidades del agua se enmarcaron en el rango establecido: $0,5 \text{ m/s} < V < 2,5 \text{ m/s}$ considerando que velocidades menores a la establecida originan sedimentación, y mayores producen demasiadas pérdidas de presión, envejecimiento rápido de tuberías y costos más altos de energía (Monge, 2018).

Las electrobombas a diferencia de las bombas de agua o motobombas funcionan con motores eléctricos con tomacorriente fijo o cargador que no requiere de combustible, estas electrobombas presentan generalmente mayor vida útil además que son de fácil manejo, ya que al ser activadas por un sistema eléctrico son mucho más sencillas de emplear que otro tipo de bombas hidráulicas (HDTOOLS, 2022).

8. Conclusiones

- ✓ Se concluye que el 75 % de los encuestados de la parroquia Santa Ana se dedican a la agricultura, mientras que el 12,5 % son profesionales y el 12,5% restante se dedican a otras actividades, la tenencia de tierra, el 50 % es arrendada, 25 % prestadas o cedidas y el otro 25 % propia. De las 8 encuestas realizadas solo una se dedica a la siembra de café mientras que el resto siembra caña, yuca, guineo. Los métodos de riego empleados en la parroquia son 25 % gravedad, 12,5 % goteo y el 62,5 % no emplea ningún método de riego. La variedad de café que se siembra en la finca Agroloja es Arábigo, cuya producción (7 - 9 qq al año) es destinada a asociaciones.
- ✓ El mayor requerimiento bruto de riego fue septiembre con 4,0 mm/día; mientras que en febrero fue el menor con 0,8 mm/día. Las necesidades de riego brutas fueron de 4,3 mm/día, equivalente a 12,9 litros/árbol/día.
- ✓ La textura del primer horizonte es Franco y la densidad aparente tiene un valor de 1,63 g/cm³, los contenidos de humedad del primer horizonte a pF = 0; pF = 2,0 y pF = 4,2 fueron: 29,1 % θ_v ; 26,9 % θ_v , 14,7 % θ_v en su orden. La intensidad de precipitación del sistema de riego (0,13 cm/h) fue menor a la velocidad de infiltración del agua del suelo (15 cm/h). Los parámetros que permitieron evaluar físicamente el suelo son agua aprovechable (12,3 % θ), capacidad de aireación (2,18 % θ) y volumen de poros físicamente inerte (85,52 % θ), estos tres parámetros más el diagrama triangular para las condiciones físicas del suelo, se determinó que el suelo de la finca Agroloja es muy pobre.
- ✓ 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 desarrolló con el propósito de que funcione de manera adecuada, suministrando las láminas de agua óptima para el correcto desarrollo del cultivo. Para el funcionamiento óptimo del sistema de riego se implementará una electrobomba, el presupuesto total del diseño del sistema de riego por goteo asciende a la suma de \$ 1463,3 dólares.
- ✓ Se concluye que mediante la implementación del sistema de riego por goteo se obtendrá un incremento de la productividad y calidad del cultivo debido a que se optimizará el uso de agua y fertilizantes, además de evitar la degradación del suelo (erosión) y el desperdicio del agua, por lo tanto, la tecnificación del riego es la mejor alternativa para mejorar los rendimientos agrícolas, mejorando la calidad y productividad en el campo.

9. Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos y conclusiones generadas, se plantean las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se recomienda realizar evaluaciones periódicas de uniformidad del sistema de riego por goteo, con el objetivo de garantizar su correcto funcionamiento.
- ✓ Instalar un regulador de presión al inicio de la unidad de riego
- ✓ Realizar mantenimientos continuos del sistema para su máxima eficiencia.
- ✓ Se recomienda la aplicación de abono, materia orgánica y compost.
- ✓ Se recomienda realizar un análisis de calidad de agua de riego de la finca Agroloja.
- ✓ Antes de hacer funcionar el sistema, se debe lavar el filtro, el sistema venturi y sangrar el sistema por un espacio de 10 minutos.
- ✓ Se recomienda que se siga realizando estudios orientados a la tecnificación de sistemas de riego para que los agricultores de la parroquia Santa Ana logren mejorar su calidad de vida y productividad.

10. Bibliográfica

- Abellan, J. (2020). *Clasificación de los emisores*. Gestiriego. <https://www.gestiriego.com/clasificacion-de-los-emisores/>
- 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]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23303/1/Diana%20Elizabeth%20Aguinsaca%20Medina.pdf>
- Ahmad, S. y Ajaz, A. (2013). *Design and operations manual pressurized irrigation systems*. https://www.researchgate.net/publication/332915780_DESIGN_AND_OPERATION_S_MANUAL_PRESSURIZED_IRRIGATION_SYSTEMS_VOLUME_I
- Alfaro, I. y Nomberto, P. (2015). *Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café en el sector Quebradonda-Catache-Santya Cruz-Cajamarca* [Tesis de grado. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque-Perú]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/103/BC-TES-3809.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcaraz R. (2016). *Ensayo de infiltración de agua*. TILOOM. <https://www.tiloom.com/ensayo-de-infiltracion-de-agua/>
- Allen, R; Pereira, L; Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Alocén, C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Honduras: Impresiones Industriales*. <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>
- Angella, G., Frías, C., y Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*. INTA. Buenos Aires-Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Asociación Agroartesanal de productores ecológicos de café especial de cantón Loja (APECAEL), 2023. *Laboratorio de catación de café*. <http://apecael.blogspot.com/>
- Assan, M. y Gorosito, S. (2018). *Relación agua, suelo, planta*. Serie didáctica N°1 Catedra de riego y drenaje. FCA UNCA. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>

- Balón, R. (2016). *Evaluación de Enraizadores Orgánicos en el crecimiento de la planta de café, variedad Robusta (Coffea canephora) en viveros en el cantón General Villamil Playas*. Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5498/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-75.pdf>
- Barría, H. y Martínez, I. (2021). *La tensión del agua en el suelo y su importancia para el riego*. INIA Remehue. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/67528/NR42516.pdf?sequence=1>
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Ecosistemas, 13(2).
- Benítez, P. (2012). “*Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Malacatos perteneciente al cantón Loja*”. [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14671/1/Benitez%20Medina%2C%20Paulina%20del%20Cisne.pdf>
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Breña, E. y Valdez, Y. (2019). *Coficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300041
- Burbano, L; Puentes, G. y Benavides, H (sf). *Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana*.
<https://www.google.com/search?q=lamina+de+agua+aprovechable&oq=&aqs=chrome.0.35i39i362l8...8.1107129548j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Cabrera, N., Galluser, S., Kroll, B., Varese, E. y Zurita, F. (2017). *Manual de caficultura climáticamente inteligente. Café 2.0*. 1ra edición. Lima, Perú. https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/Manual%20de%20caficultura_Solidaridad_0.pdf
- Cadena, V. (2016). *Hablemos de riego*. (Segunda edición). Quito, Ecuador: CONGOPE. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Calvache, M. (2012). *Riego andino tecnificado*. Quito. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. https://www.researchgate.net/profile/Angel-Calvache-Ulloa/publication/337484474_RIEGO_ANDINO_TECNIFICADO_PARA_FERTIR

RIEGO/links/5ddb307d92851c1fedaf59e9/RIEGO-ANDINO-TECNIFICADO-PARA-FERTIRRIEGO.pdf

- Cañar, A. (2016). *Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Campana- Malacatos, utilizando los sistemas de información geográfica (sig)*. 92.
- Carvajal, J. 1984. *Cafeto: Cultivo y Fertilización*. 2. Edición. Costa Rica, Instituto Internacional de la Potasa. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/65-carvajal-cafeto-cultivo-y-fertilizacion.pdf>
- Castro, S. (2016). Tesis de grado: *Comportamiento en vivero de seis variedades de café injertadas sobre Coffea canephora var. Robusta en San Ramón (Chanchamayo)*. Lima – Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1975/F01-E884-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CENICAFE (2016). *La acidez del suelo*. Colombia. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- Cenicaña, P. (2015). *Evapotranspiración del cultivo*. <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>
- Chow, J. (2006). *Método fácil de diseño de riego por goteo*. https://www.academia.edu/35689307/M%C3%A9todo_F%C3%A1cil_de_Dise%C3%B1o_de_Riego_por_Goteo_MEFADERG_%C3%8Dndice_Contenido
- Cisneros, E., Rey, R., Martínez, R., López, Teresa, y González, F. (2015). *Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el café en la provincia de Pinar del Río*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(2), 23-30. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200004
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de Riego y Drenaje* (p. 164). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- Cobos, D. (2019). *Sistema de información geográfica preliminar del sistema de riego Campana-Malacatos*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21824/1/Santiago%20Daniel%20Cobos%20Ram%C3%B3n.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. Subdirección General de Operación

- Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. México.
<https://www.hidraulicafacil.com/p/libro-manual-para-la-elaboracion-y.html>
- Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC). (2013). *Situación del sector cafetalero Ecuatoriano*. Portoviejo, Ecuador.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/31064219/situacion-sector-cafe-ecu-2013-consejo-cafetalero-nacional->
- Cuenca, D. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el sector Chorrillos, parroquia Malacatos*.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24320/1/Luz%20Daniela%20Cuenca%20Tamayo.pdf>
- Cumbicus, E. y Jiménez R. (2012). *Análisis Sectorial del café en la zona 7 del Ecuador*. Universidad Técnica Particular de Loja.
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2703/1/338X1227.pdf>
- De las Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>
- Delgadillo, O y Pérez, L (sf). *Medición de la infiltración del agua en el suelo. Método de doble anilla*.
http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2022/04/S_T_12016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf
- Delgado, G. (2012). *Determinación de la lámina de riego para el cultivo de la Albahaca Genovesa (*Ocimum basilicum* “Genovese”) a partir de la variación del coeficiente multiplicador de la evaporación*.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9017/CB-0478859.pdf?sequence=1>
- Demin, E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: Fundamentos, usos y adaptaciones*. Ediciones INTA. Catamarca, Argentina.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Díaz, J. (2005). *Propuesta metodológica para determinar el potencial de humedad de un material granular a partir de la humedad relativa*. Ingeniería y Competitividad, 7(1), 73-79. ISSN: 0123-3033. <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323470007.pdf>
- Docampo, R (s.f). *La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola*. INIA.

- <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
- Ecured (2021). *Capacidad de campo y Punto de Marchitez permanente*.
https://www.ecured.cu/Capacidad_de_campo_y_Punto_de_marchitez
- El comercio (20 de octubre del 2019). *La taza dorada en Quito y un festival en Portoviejo*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/taza-dorada-quito-cafe-arabigo.html>
- El Productor. (2017). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017*. Noticias Agropecuarias. El productor.com. <https://elproductor.com/2017/11/rendimientos-de-cafe-grano-seco-en-el-ecuador-2017/>
- Enríquez, GA; Duicela, LA. (2014). *Guía técnica para la producción y Poscosecha del café Arábigo*. COFENAC. Portoviejo – Ecuador.
- FAO (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO (2021). *Propiedades físicas del suelo*. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2016). *La Disponibilidad del Agua en el Suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios*. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M., Milla, M., Ricardo, Á., & Gavilán, P. (2010). *Manual de Riego para Agricultores (Signatura)*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación
- Figueroa, E; Pérez, F; Godínez, L. (s.f). *La producción y el consumo del café*. ECORFAN – España. Disponible en: https://www.ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf
- Fontanet, M. (2013). *Curva de Retención de Humedad de la Zona No Saturada del Terreno. Principios, Métodos y Aplicaciones*. <https://www.youtube.com/watch?v=Uf0fnh-h0Gw>
- Gallego, C. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Platas, provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12733>
- García, J; Sosa, F. y Fernández, J. (s.f). *El agua del suelo*. Catedra de edafología. Universidad nacional de Tucumán. <https://www.edafologia.org/descargas/>

- García, M., Puppo, L., Hayashi, R., y Morales, P. (s.f). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Montevideo.
<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20os%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
- Gea, P. (s.f). Riego Localizado. <https://www.hydropgea.com/wp-content/uploads/2016/05/RIEGO-LOCALIZADO.pdf>
- Geniova, L; Andreau, R; Etcheverry, M; Etchevers, P; Chale, W; Luciano, C. y Ramos, F. (sf). *Las relaciones agua-suelo-planta-atmosfera: base para el abordaje a la problemática del riego y el drenaje*.
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35376/mod_resource/content/1/unidad%205%20TP5%20RASPA.pdf
- Gil, J. (2001). *Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana - Venezuela*. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg01007>
- Gotteland, M. y de Pablo, S. (2007). *Algunas verdades sobre el café*. Revista Chilena de Nutrición. Santiago – Chile. <https://www.redalyc.org/pdf/469/46934202.pdf>
- Gurovich, L.A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San José. Costa Rica. IICA.
<http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7213/BVE18040268e.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- HDTOOLS. (2022). *Que es una electrobomba*. <https://www.hdtools.cl/article/que-es-una-electrobomba>
- Holzmann, R. (2015). *Relación Suelo-Planta-Agua*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Patagonia Norte Estación. INTA. Argentina.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_relacion-suelo-planta-agua.pdf
- Instituto del café de Costa Rica (ICAFE). (2011). *Guía técnica para el cultivo del café*. 72.
<http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- InfoAgro (s.f). *Tecnología de riegos (2da Parte)*.
https://www.infoagro.com/riegos/tecnologias_riego2.htm
- InfoAgro. (s.f). *El cultivo de café*. Infoagro.com.
<https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>

- Infocafe (2015). *Principales productores de café del mundo*.
<https://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>
- Ingemecánica (sf). *Cálculo de una instalación de riego por goteo*. Tutorial n° 207.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>
- Innatia. (s.f). *Las condiciones ambientales e la producción de café*.
<http://www.innatia.com/s/c-produccion-cafe/a-ambiente-para-producir-cafe.html>
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. (INTAGRI) (2015). *Sistema de riego por goteo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- INTAGRI. (2015). *La Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo*. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- INTAGRI. (2019). *Diseño Agronómico de Sistemas de Riego por Goteo*. Serie Agua y Riego, Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
<https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/disenio-agronomico-del-sistema-de-riego-por-goteo>
- Izquierdo, J; Javela, L. y Oviedo, Y. (2011). *Curvas características de humedad como herramienta de optimización y determinación del tiempo de riego*. Revista Ingeniería y Región N° 8.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/793/1524#:~:text=La%20curva%20caracteristica%20de%20retenci%C3%B3n,y%20el%20punto%20de%20marchitez>
- Jiménez, S. (2016). *¿Cuánta agua de lluvia aprovechan los cultivos?* Hidráulica Fácil. Disponible en: <https://www.hidraulicafacil.com/2016/11/precipitacion-efectiva.html>
- Jiménez, S. (2017). *Diseño Agronómico e hidráulico de sistemas de riego presurizado*. Hidráulica fácil; Blogger. <https://www.hidraulicafacil.com/2017/05/disenio-hidraulico-de-sistemas-de-riego.html>
- La Hora. (2021). *Incremento de productividad de café en Loja*. Diario La Hora. Noticias de Ecuador. <https://www.lahora.com.ec/loja/loja-incremento-de-productividad-de-cafe-en-loja/>
- Lema, V. 2019. *Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería-Sistemas de Información Pública Agropecuario. Quito-Ecuador. <https://fliphtml5.com/ijia/zeck/basic>

- Liotta, M; Pringles, A; Carrión, R. y Ciancaglini, N. (2015). *Manual riego por goteo*. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/riego-por-goteo>
- López, M. (2016). *Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrifuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. Universidad Central del Ecuador. Quito - Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Luna, A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (sig)*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/19710>
- Macas Medina, K.I. (2021). *Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja*. Universidad de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24361>
- Marcos, A. (2019). *Cultivo de café: Cómo mejorar la calidad del suelo*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2019/10/22/cultivo-de-cafe-como-mejorar-la-calidaddel-suelo/>
- Martínez, M. (2013). *UDF Cálculo Volumen Reservorio*. Excel Avanzado. https://www.excel-avanzado.com/14578/udf-calculo-volumen-reservorio.html#google_vignette.
- Maza, H. (2020). *Evaluación y mejoramiento técnico de la eficiencia de riego presurizado en el cultivo de café en el sector Potrerillos, cantón Gonzanamá*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22976/1/Henry%20Rene%20Maza%20Buele.pdf>
- Medina J; Volke, V; Galvis, A; Costes, J. y Santiago, M. (2017). *Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México*. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n2/43750618014.pdf>
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima, Perú. https://corporacionbiologica.info/wp-content/uploads/2021/03/man_det_efic_riego.pdf
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2016). *Riego localizado*. Gobierno de España. <https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de->

conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx

Miranda, J. (2021). *Los precios del café y su incidencia en la producción y comercialización en el cantón jipijapa*. Manabí, Ecuador.

http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3259/1/Miranda%20Jonathan_Los%20precios%20del%20caf%C3%A9%20y%20su%20incidencia%20en%20la%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20en%20el%20c.pdf

Molecor. (2021). *Pérdidas de carga*. Madrid, España. <https://molecor.com/es/perdidas-carga>

Monge, M. (2018). *Exponente de descarga de un gotero: como calcular su valor*. Iagua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descarga-gotero-como-calcular-valor>

Monge, M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. Madrid, España: Agrícola Española.

Monroig, M. (s.f.). *Morfología del café*. <https://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>

Morocho, F. y Chillogallo, J. (2010). *Efecto de diferentes granulometrías de carbón vegetal en la aireación de un suelo franco, en el cultivo de tomate de mesa (solanum lycopersicum l.) bajo invernadero en la estación experimental “la argelia”, fase II*. Unl.edu.ec. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5745>

Mosaicos de sistemas productivos a nivel nacional. Convenio MAG-IEE-SENPLADES (2009-2015). <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>

Monteros, A. (2016). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito. Ecuador. <https://docplayer.es/29340888-Rendimientos-de-cafe-grano-seco-en-el-ecuador-2016.html>

Mula, J. (2020). *Razones para elegir goteros autocompensantes en riego*. <https://www.agromatica.es/goteros-autocompensantes/>

Naandanjain. (2018). *Riego por goteo*. http://naandanjain.com/wp-content/uploads/2019/04/1_NDJ_Drip_Short_span_060818.pdf

NETAFIM, (2020). *El riego por goteo revoluciona la agricultura*. <https://www.netafim.com/es-pe/drip-irrigation/>

Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 - 2027*. Secretaría del Agua, 160.

- Odi, M; Paz, F; López R. y Gonzales, J. (2013). *Definición de la etapa de desarrollo de los cultivos para estimar evapotranspiración usando la metodología FAO-56 y sensores remotos. Tecnologías y Ciencias de Agua.*
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n3/v4n3a5.pdf>
- Osorio, N. (2012). *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal.*
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Ospina, A; Rodríguez, M. y Lozano, Z. (2016). *Aireación del suelo* [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=iIcE778O2h0>
- Pachés, M. AV. (s.f). *El agua en el suelo: fuerzas de retención.* Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20potencial%20gravitacional%20es%20debido,un%20nivel%20de%20referencia%20dado.>
- Picoita, G. (2021). *Diseño de in sistema de riego por goteo en el cultivo de café (Coffea arábica L.) en el centro binacional de formación técnica Zapotepamba – Paltas. Loja.*
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24377/1/Danny%20Armando%20Picoita%20Guerrero.pdf>
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.* Bilbao, España: Mundi-Prensa.
- Portalfruticola (2020). *Riego por goteo: Tipos de filtros y sus mantenciones.*
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/08/26/riego-por-goteo-tipos-de-filtros-y-sus-mantenciones/>
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Malacatos. PDOTM (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Malacatos.*
http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160031040001_PDyOT_Malacatos_30-10-2015_21-26-09.pdf
- Planeta Huerto (2021). *Goteros Autocompensados.*
<https://www.planetahuerto.es/especial/goteros-autocompensados>

- Robles, D. (2021). *Diseño de un sistema de riego por goteo para la producción forrajera de moringa (Moringa oleífera) y flor de botón de oro (Tithonia Diversifolia Hemsl) en la finca El Toldo, cantón Gonzanamá de la provincia de Loja*. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24452/1/Danieladel%20Carmen_RoblesCumbicus.pdf
- Romero, J., & Camilo, J. (2019). *Manual de producción sostenible de café*. Santo Domingo, República Dominicana. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>
- Roja J. (s.f). *Densidad Aparente. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa*. Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Provincia Chaco – Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- Saborío, L. (2018). *Diseño de un sistema de conducción y de dos sistemas de riego para café en el centro de investigación del café de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago - Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9879/dise%c3%b1o_sistema_conduccion_dos_sistemas_riego_para_cafe_centro_investigacion_cafe_costa_rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salamanca, J. y Sadeghiank, S. (2004). *La densidad aparente en suelos de la zona cafetalera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto*. *Avances Técnicos Cenicafe*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0326.pdf>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F. y Freire, C. (2020). *Sector cafetero ecuatoriano*. Observatorio económico y social de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/10/Analisis-del-sector-cafetero-ecuatoriano-final-tres-1.pdf>
- Sandoval, J. (2014). *Necesidades hídricas de pasturas con manejo orgánico en la zona de influencia del canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo*. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7519/1/UPS-YT00220.pdf>
- Silva, M. (sf). *Materia Orgánica: Su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe*. <http://www.ipni.net/publication/ia->

lacs.nsf/0/A07639C9FDA94B058525799900609B79/\$FILE/MSRossi-
MOcalidad%20del%20suelo1.pdf

- Silva, A.; Ponce De León, J., García, F. y Durán, A. (1998). *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. Boletín de Investigación N° 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.
- Silva, M. (s.f). *Cultivo de café: como es, proceso y factores que influyen*. Agrotendencia. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/el-cultivo-de-cafe/>
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M. y Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Chile. Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Sociedad de hecho (2018). Estudio de la factibilidad para la creación de una denominación de origen para “Lojano café de origen”.
- Sotomayor, H. y Duicela, G. (1993). Botánica. *En Manual del cultivo de café*. Ed. I Sotomayor. Quevedo, EC, Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1619>
- Telégrafo (2018). *Exportaciones de café cayeron 24,5% en 2017*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/exportaciones-cafe-bajaproductividad>
- Traxco. (2016). *Importancia de los filtros para el riego*. <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/filtros-para-riego#:~:text=Importancia%20de%20los%20filtros%20para%20riego&text=Evitar%20que%20las%20variaciones%20en,emisores%20mediante%20filtros%20para%20riego>
- Valarezo, L. (2013). *Módulo VI: Sistemas de Riego superficial y presurizado*. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Valarezo, C., Ñiguez, M., Valarezo, L. y Guaya, P. (1998). *Condiciones Físicas de los Suelos de La región Sur del Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Valverde, C. (2007). *Riego y Drenaje*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a distancia.
- Vanegas, F. (2017). *Fertilidad y propiedades físicas del suelo para el cultivo del café*. Cofee Media. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2017/02/11/fertilidad-y-propiedades-fisicas-del-suelo-para-el-cultivo-del-cafe/>

- Venegas S; Orellana D. y Pérez, P. (2018). *La realidad ecuatoriana en la producción de café*. Recimundo “Revista científica mundo de la investigación”.
<https://www.recimundo.com/index.php/es/article/download/218/html?inline=1>
- Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El riego en Ecuador: problemática, debate y políticas*. Eje temático «Riego» bajo la coordinación de CESA, 68 p.
- Zotarelli, L; Dukes, M. y Morgan, K. (2019). *Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad*. Agricultural and Biological Engineering. Universidad de la Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AE/AE49600.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Encuesta

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Agrícola
Proyecto de Titulación

Encuesta: Caracterizar la situación productiva actual del café en un sector de la parroquia
Malacatos

Nombre del informante:
Parroquia:
Fecha:

1. Miembros de la familia y rangos de edades

2. Quienes de la familia se dedican a la finca y que actividades realizan

3. Tienen acceso a servicios básicos:

Servicios Básicos	Si	No
Agua potable		
Luz		
Telefonía		
Alcantarillado		
Acceso a carreteras		

4. ¿Usted a que actividad se dedica?

Actividad	Tiempo dedicación (h)
Agricultura	
Crianza de animales menores	
Crianza de animales mayores	
Profesional	
Otros	

5. ¿Cuál es la superficie del terreno?

< 1ha	1ha - 5 ha	5ha - 10ha	> 10 ha

6. ¿Cuál es la tenencia de la tierra?

Propia	
Arrendada	

7. Uso actual de la tierra

Estado	Superficie (ha-m2-otros)					Total (ha-m2-otros)
	Cultivos	Pastos	Bosques	Descanso	No aptos	
Bajo canal						
Fuera de canal						
Total						

8. ¿Cuál es el método de riego que utiliza en su predio

Aspersión	Goteo	Gravedad	Ninguno

9. Presenta alguna dificultad en el método actual de riego

10. Superficie regable en el predio

Toda	En parte	Ninguna

11. Cada que frecuencia riega los cultivos

Todos los días	Una vez a la semana	Rara vez	Otros

12. Cada que tiempo se realiza la cosecha de café

13. El café cosechado es para la venta o consumo de la familia

Café	Cantidad
Venta	
Consumo	

14. ¿Cómo lo venden al café?

Grano..... Tostado..... Procesado.....

15. Costos de café en grano, tostado o procesado

Grano..... Tostado..... Procesado.....

16. Cantidad de café que se vende al año

-
-
-

Anexo 2. Análisis de laboratorio

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

Informe N°: LN-SFA-E20-0659
 Fecha emisión Informe: 15/07/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Andrea Carolina Gahona Costa
Dirección¹: El Rosal **Teléfono¹:** 0968676086
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Loja **Correo Electrónico¹:** andreacarolinagaona94@g
N° Orden de Trabajo: 11-2020-152
N° Factura/Documento: 012-001-0615

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo¹: Faique		
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: ----
Cantón¹: Loja		Y: ----
Parroquia¹: Malacatos		Altitud: ----
Muestreado por¹: Andrea Gahona		
Fecha de muestreo¹: 30-06-2020	Fecha de inicio de análisis: 03-07-2020	
Fecha de recepción de la muestra: 03-07-2020	Fecha de finalización de análisis: 15-07-2020	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-20-0749	Malacatos 1	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,63
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,30
		Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	28,13
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	26,95
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,65
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	12,30
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	40
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	40
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	20
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Observaciones:

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


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


AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

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

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

15 JUL 2020

AGROCALIDAD

Anexo 3. Cálculo del volumen del reservorio

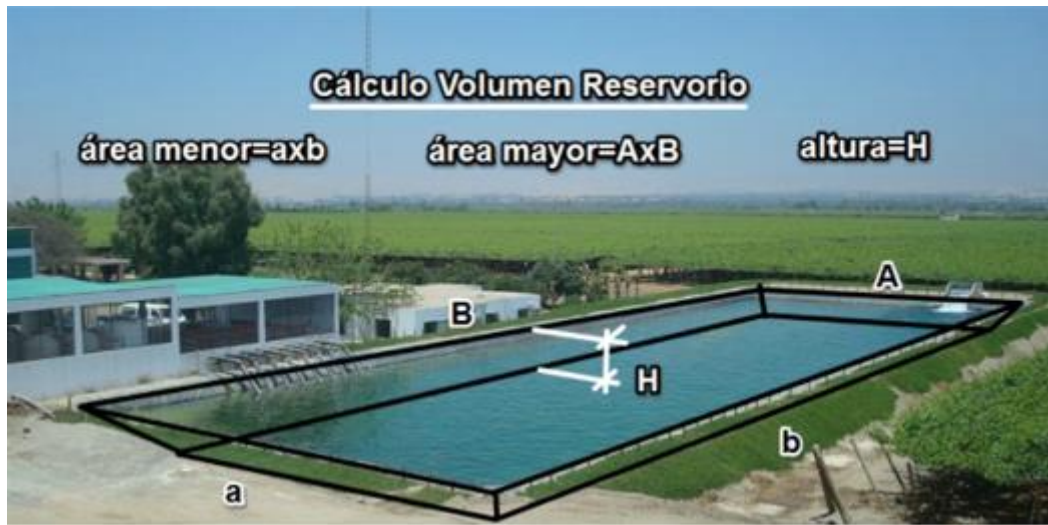


Figura 7. Datos de partida para determinar el volumen de un reservorio.
Fuente: Martínez (2013).

Anexo 4. Determinación de la evaluación de las condiciones físicas del suelo

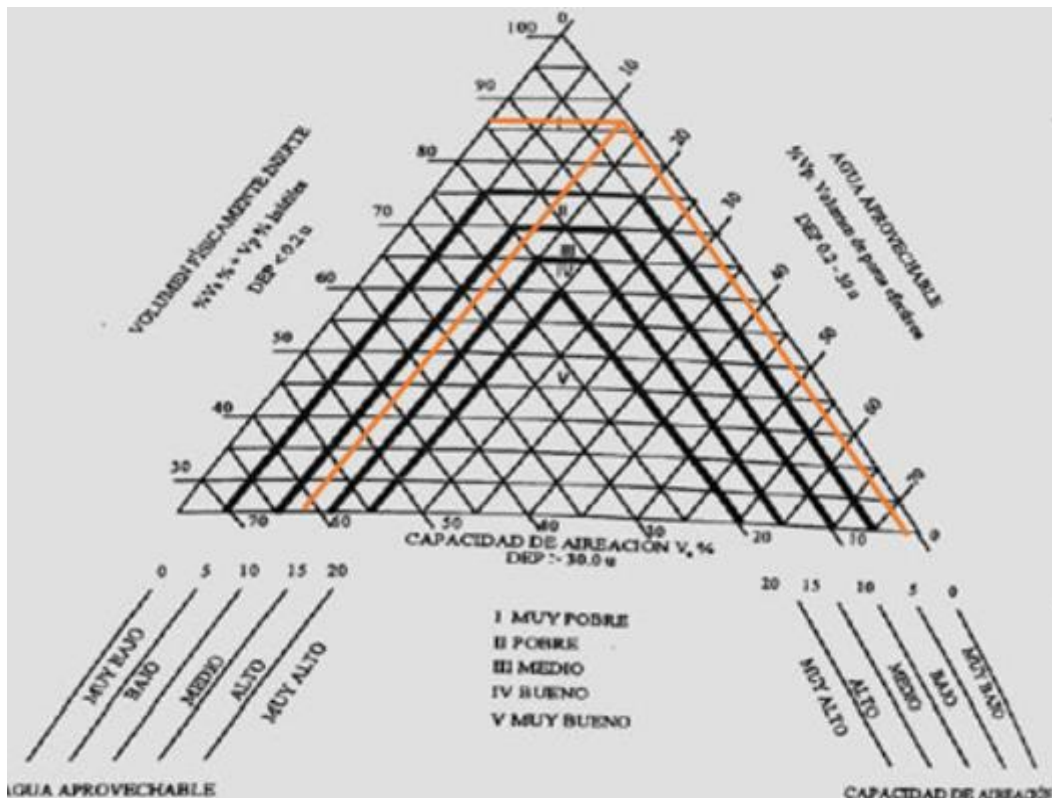


Figura 8. Diagrama triangular para las condiciones físicas del suelo.
Fuente: Valarezo et al., 1998 (USDA)

✓ **Agua Aprovechable**

$$AA = CC - PMP$$

$$AA = 26,95\% \theta - 14,65\% \theta$$

$$AA = 12,3\% \theta$$

✓ **Capacidad de Aireación**

$$CA = Sat - CC$$

$$CA = 29,13\% \theta - 26,95\% \theta$$

$$CA = 2,18\% \theta$$

✓ **Volumen total de poros = Saturación es igual a volumen total de poros**

$$VTP = 29,13\% \theta$$

✓ **Volumen total de solidos**

$$VTS = 100 - Sat$$

$$VTS = 100 - 29,1\% \theta$$

$$VTS = 70,87\% \theta$$

✓ **Volumen físicamente inerte**

$$VFI = [100 - (VTP - PMP)]$$

$$VFI = [100 - (29,13 - 14,65\%)]$$

$$VFI = 85,52\% \theta$$

Anexo 5. Estación meteorológica de la zona de estudio

Tabla 24.

Estación considerada en la zona de estudio.

Estación		Ubicación Geográfica			Altitud	Institución propietaria
Código	Nombre	Tipo	Latitud	Longitud	m s.n.m	Pública
MO143	Malacatos	CO	9533892	691965	1 453	INAMHI

Anexo 6. Precipitación efectiva "Cropware 8.0"

Tabla 25.

Precipitación total (mm) de la Estación Meteorológica Malacatos (1992-2012).

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
MO143	Malacatos	66	132,5	119,5	101,8	31,4	9,9	7,7	5,8	15,3	88,2	61,6	88,8	728,5

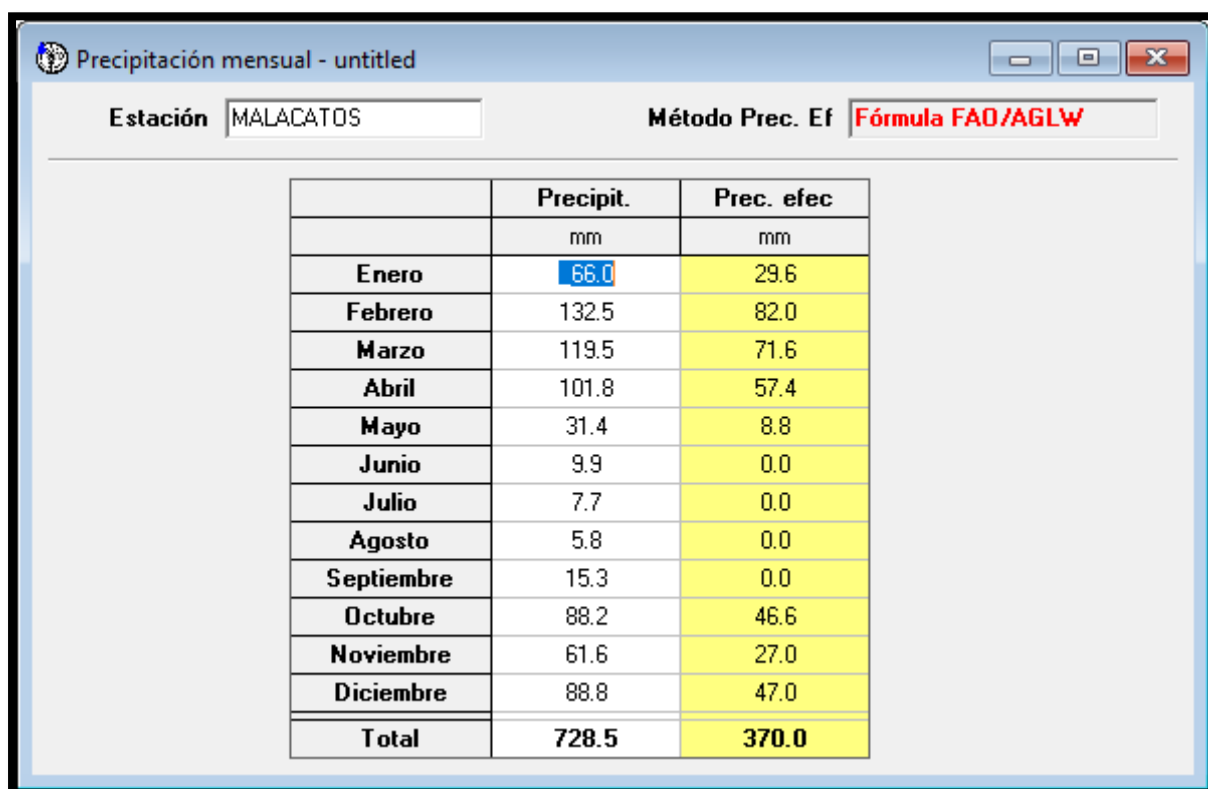


Figura 9. Precipitación efectiva de Malacatos (CROPWAR).

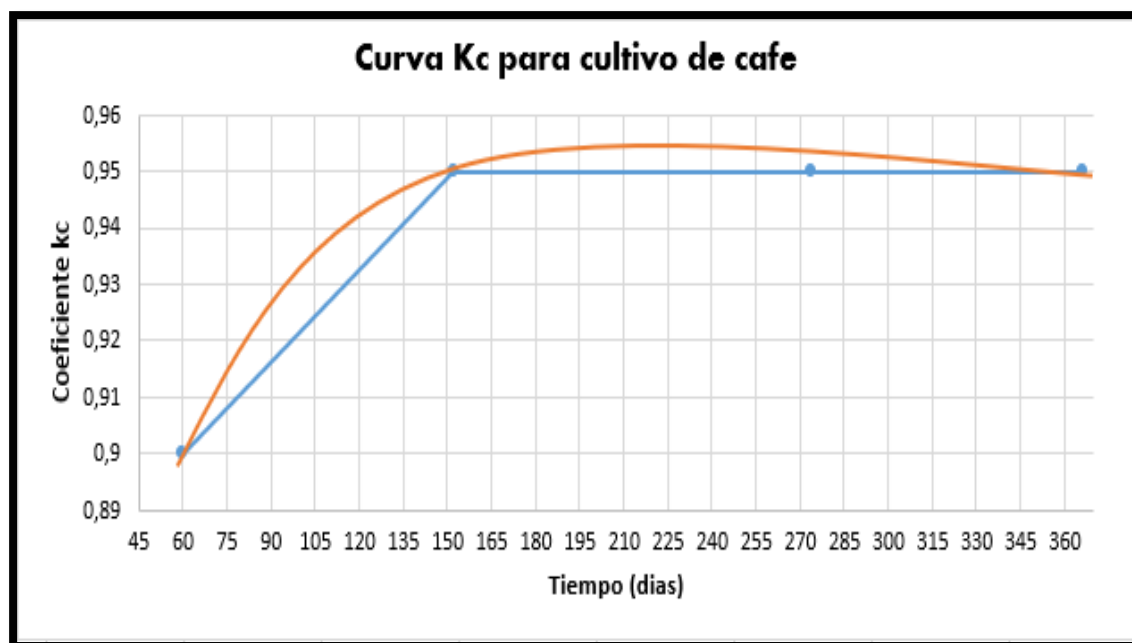
Anexo 7. Curva de coeficiente (kc) del cultivo de café

		Café
Fechas de siembra		ene-19
Ciclo total del cultivo		Todo el año
Fases del cultivo		
Descanso		2 meses
Floración		3 meses
Llenado de grano		4 meses
Cosecha		3 meses
Valores de Kc (FAO)		
Kc inicial		0.9
Kc medio		0.95
Kc final		0.95

Fuente: (Pizarro, 1996); (FAO, 2006)

Etapa	Descanso		Floración			Llenado de grano				Cosecha			
	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Kc		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93	0.95
Días		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

Figura 10. Curva del coeficiente del (kc) del cultivo de café.



Anexo 8. Ficha técnica del gotero

APLICACIONES

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

ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

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

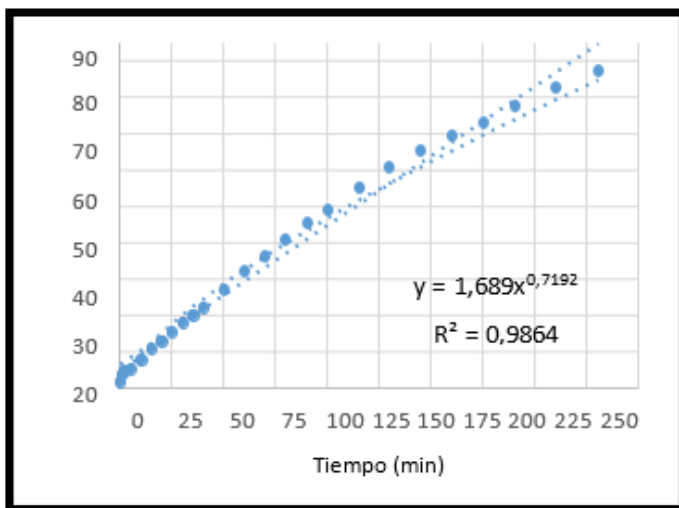


DATOS TÉCNICOS

- Descarga nominal: 1.3, 2.0, 3.0, 4.0, 8.0, 12.0 l/h
- Rango de regulación de presión: 0.5 – 4.0 bar
- Muy bajo CV
- Presión mínima recomendada: 1,0 bar
- Antidrenante (CNL): Presión de apertura: 8,0 m
Presión de cierre: 3,0 m
- Recomendación de filtración: 130 micrones (120 mesh)

Anexo 9. Velocidad de infiltración

TIEMPO ACUMULADO	LAMINA ACUMULADA
1	1,5
2	4
3	5
6	5,4
11	8
16	10,7
21	13,1
26	15,6
31	18,1
36	20,1
41	22,1
51	27,1
61	32,1
71	36,1
81	40,6
91	45,1
101	49,1
116	55,1
131	60,5
146	65
161	69,3
176	72,9
191	77,3
211	82,3
231	86,8



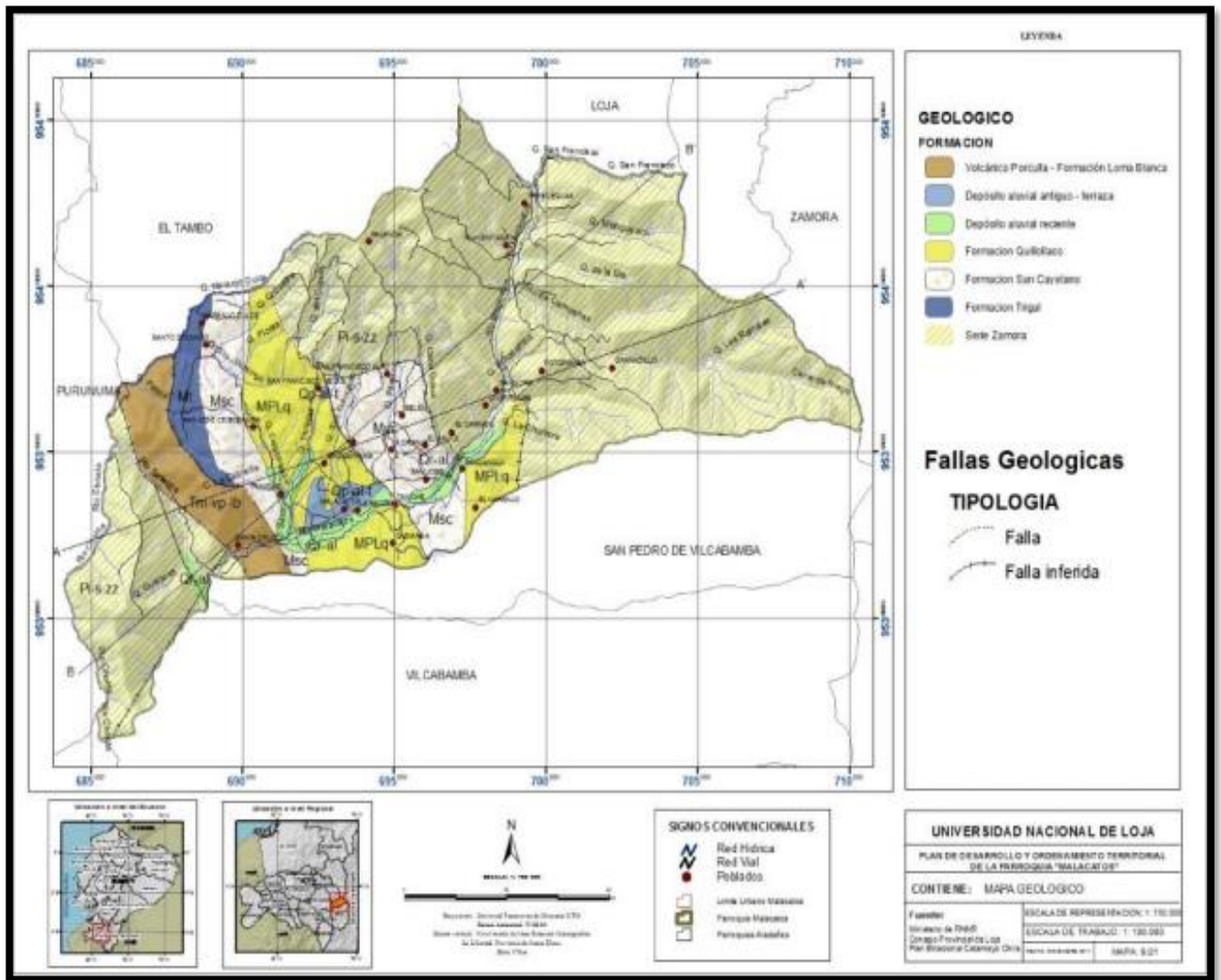
$Y = 1,689x^{0,7192}$	
K	1,689
T	0,7192
I bas (cm/h)	15

Tabla 26.

Clasificación de la infiltración según el USDA de los EE. UU.

CLASE	INFILTRACIÓN BÁSICA (cm/hr)
• Infiltración lenta	menor a 0.5
• Infiltración moderadamente lenta	0.5 - 2.0
• Infiltración moderada	2.1 - 6.0
• Infiltración moderadamente rápida	6.1 - 13.0
• Infiltración rápida	13.1 - 25.0
• Infiltración muy rápida	mayor a 25.0

Anexo 10. Mapa geológico de la parroquia Malacatos



Fuente: HCPL (2010).

Anexo 11. Respaldo fotográfico



Figura 11. Zona de estudio.



Figura 12. Reservorio de la Finca Agroloja.



Figura 13. Levantamiento topográfico de la zona de estudio.



Figura 14. Obtención de las muestras inalteradas.



Figura 15. Aplicación de encuestas.



Figura 16. Toma de presión con el manómetro.

Anexo 12. Presupuesto general

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL \$
CABEZAL DE RIEGO/FERTIRRIEGO.				
REDUCTOR CORTO 63 X 32 MM	U	1	0,25	0,25
UNION UNIVERSAL PVC INY 32 MM	U	1	1,75	1,75
CODO PEGABLE 32 MM X 90° PVC	U	8	0,40	3,20
ADAPTOR HEMBRA PVC 32 MM	U	2	0,50	1,00
ADAPTADOR MIXTO S/R PVC 32 MM	U	2	0,39	0,78
ADAPTADOR H 20 MM X 1 ERA	U	2	0,20	0,40
ADAPTADOR HEMBRA 20 MM PVC	U	2	0,15	0,30
TEE REDUCIDA 32 MM X 20 MM ERA	U	3	0,55	1,65
VALVULA DE COMPUERTA DE 32 MM DOUBLE LIN	U	1	10,00	10,00
VALVULAS DE BOLA 32 MM PVC	U	1	7,00	7,00
ADAPTADOR MACHO ROSCABLE DE 32 MM PVC	U	1	0,60	0,60
FILTRO ANILLAS 120 MESH 32MM	U	1	15,00	15,00
MANOMETROS EX 100 PSI SS CONEXIÓN FONDO	U	2	14,00	28,00
VALVULAS DE BOLA 20 MM PVC	U	2	3,50	7,00
CODO DE 90° X 20 MM PVC	U	2	0,60	1,20
ADAPTOR HEMBRA 20 MM PVC	U	3	0,20	0,60
VENTURY GM 20 MM	U	1	30,00	30,00
UNION UNIVERSAL ROSCA 32 MM PVC	U	1	2,00	2,00
GRIFO ¾	U	1	7,00	7,00
MONTURA/COLLARIN DE 32 MM A ¾	U	1	1,50	1,50
TANQUE ROTOPLAS 600 LITROS	U	1	90,00	90,00
TUBERIA PRINCIPAL				
TUBO DE PVC 40 MM X 6 M. 0.80 Mpa	m	90	11,00	110,00
CODO PEGABLE 40 MM X 90° PVC	U	1	2,00	2,00
UNION PEGABLE DE 40 MM	U	1	1,25	1,25
TUBERIA SECUNDARIA				
TUBO DE PVC 40 MM X 6 M. 0.80 MPa	m	90	8,75	105,00
TAPON HEMBRA ROSCABLE 40 MM PVC	U	1	0,75	0,75
CODO PEGABLE 40 MM X 90° PVC		1	2,00	2,00
VALVULA DE BOLA 40 MM PVC	U	1	3,50	3,50
TUBERIA LATERAL				
CONECTORES INICUALES DE 12 MM	U	70	0,25	17,5
TUBERIA CIEGA DE 12 MM DE 1.0 MPa	M	1500	0,10	150,00
PERFORADOR DE 3 MM GOTERO	U	2	3,46	6,92
FIN DE LINEA DE 12 MM	U	68	0,05	3,06

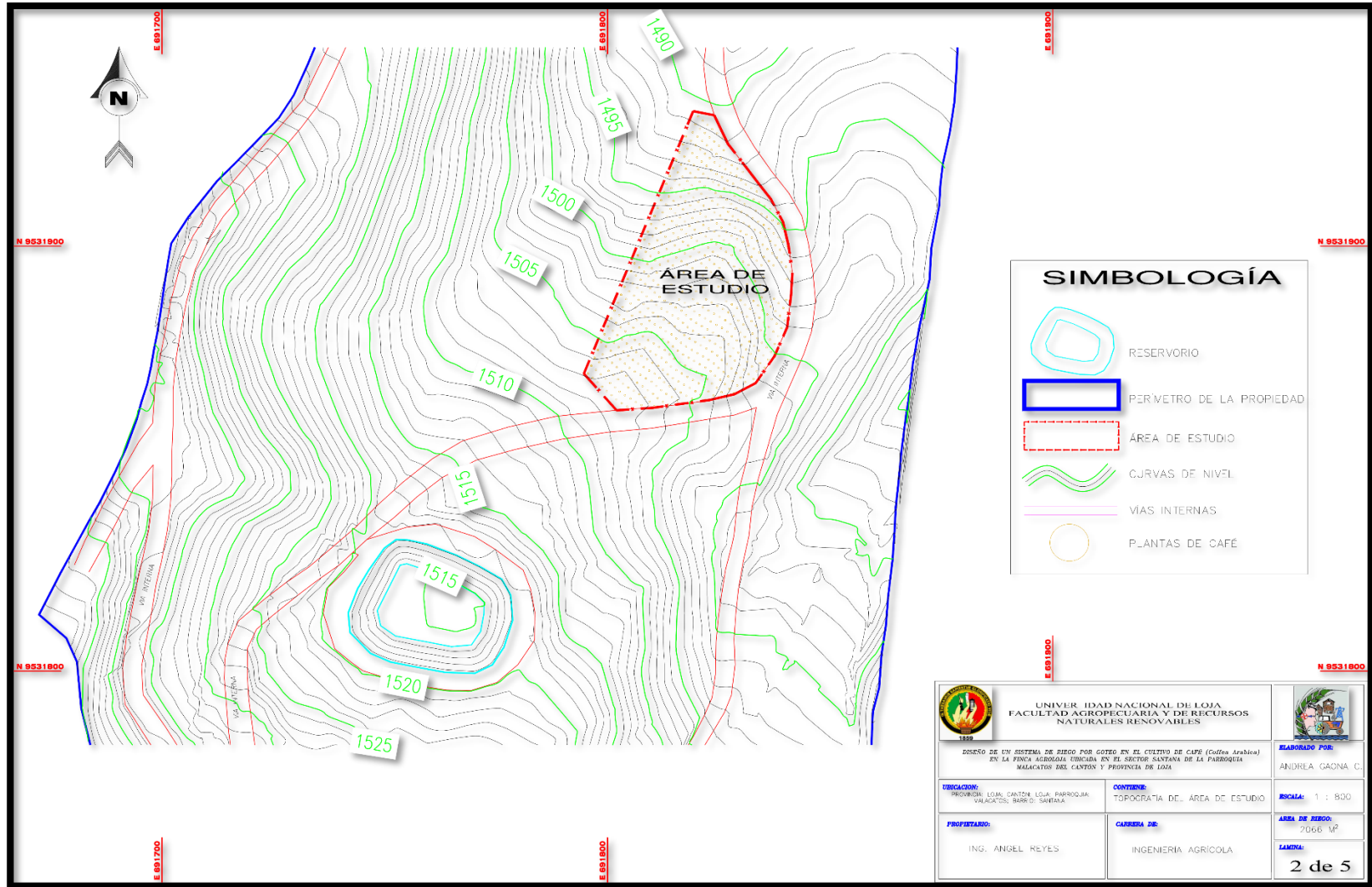
GOTERO NAANDANJAIN AUTOCOMPENSANTE 4 L/H	U	1000	0,15	150
MATERIAL ADICIONAL				
PEGA TG 705 1 4 GALON WELD-ON IPS	U	1	11,00	11,00
CINTA TEFLON AMARILLA REFORZADA	U	3	0,70	2,10
POLI - LIMPIA 1000 cc	U	1	10,00	10,00
TOTAL				784,3

Tabla 27.

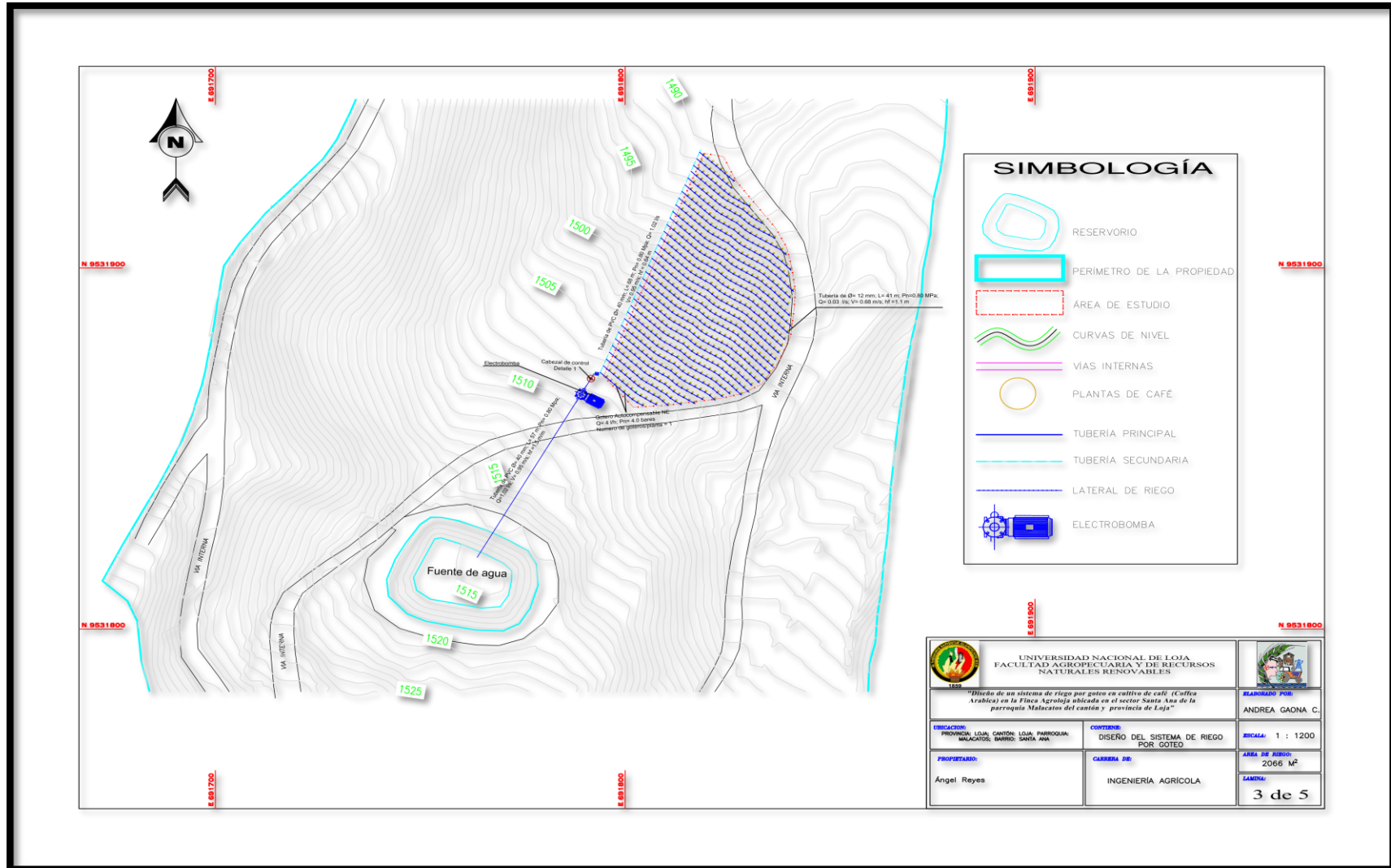
Presupuesto del diseño.

PRESUPUESTO DEL DISEÑO	
CONCEPTO	VALOR TOTAL
A. SUELDOS	
A.1. Personal técnico	394
A2. Personal Auxiliar	60
B. CARGAS SOCIALES	
B.1. Personal técnico	0
B.2. Personal Auxiliar	30
C. Viajes y viáticos	160
D. Servicios	35
TOTAL	\$ 679

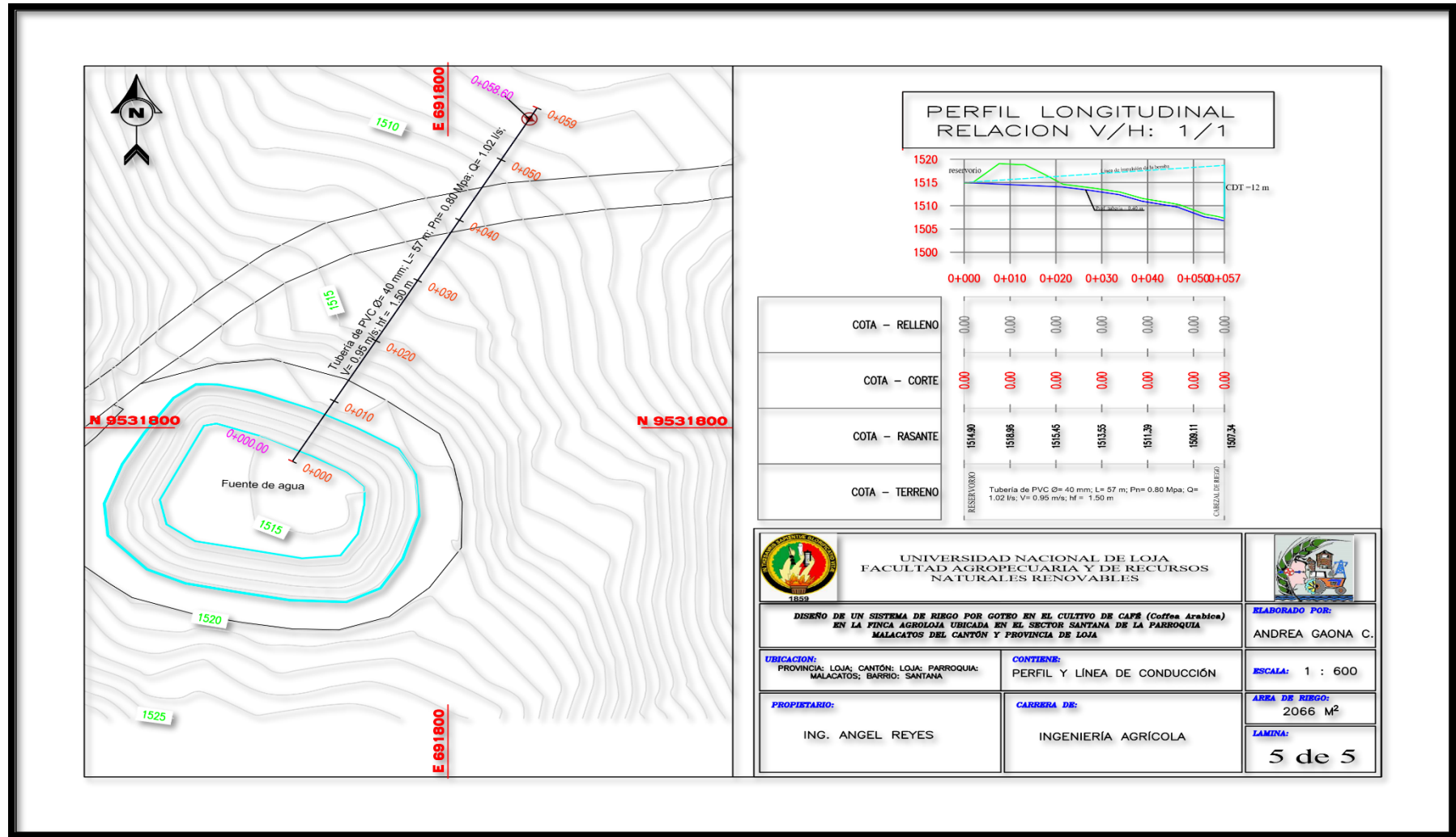
Anexo 13. Plano topográfico



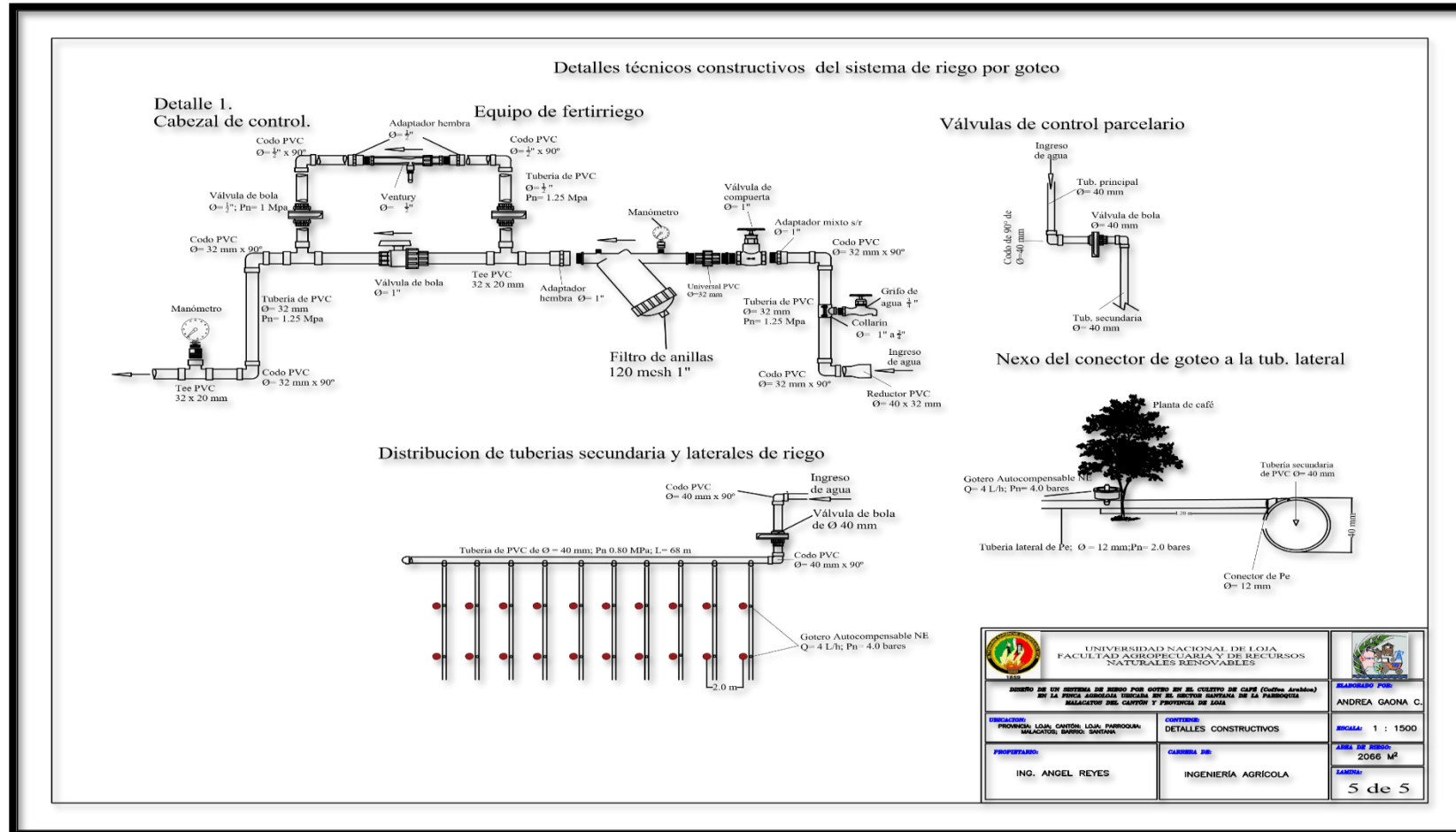
Anexo 14. Diseño del sistema de riego de goteo



Anexo 15. Planimetría y perfil de la línea de conducción



Anexo 16. Detalles técnicos del sistema de riego por goteo



Anexo 17. Certificación de traducción del Abstract



ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA FISCOMISIONAL "EDUVIGES PORTALET"
HERMANAS DOMINICAS DE LA INMACULADA CONCEPCIÓN
PREDICAR LA VERDAD Y PORTAR LA LUZ DE CRISTO
Teléf. 072571695 Correo: escuela2eduviges@hotmail.com
AÑO LECTIVO 2023 - 2024



11 de septiembre de 2023

MS.c. Katherine Alexandra López López

**DOCENTE DE INGLÉS - ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA
FISCOMISIONAL "EDUVIGES PORTALET"**

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen de tesis "Diseño de un sistema de riego por goteo en cultivo de café (*Coffea Arabica*) en la Finca Agroloja ubicada en el sector Santa Ana de la parroquia Malacatos del cantón y provincia de Loja" autoría de Andrea Carolina Gaona Costa con cédula de ciudadanía No. 1104890031, egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo a la interesada a hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.



Escaneado por:
KATHERINE ALEXANDRA
LOPEZ LOPEZ

MS.c. Katherine Alexandra López López
DOCENTE DE INGLÉS
CI: 1105890568
REG. 7241192281